

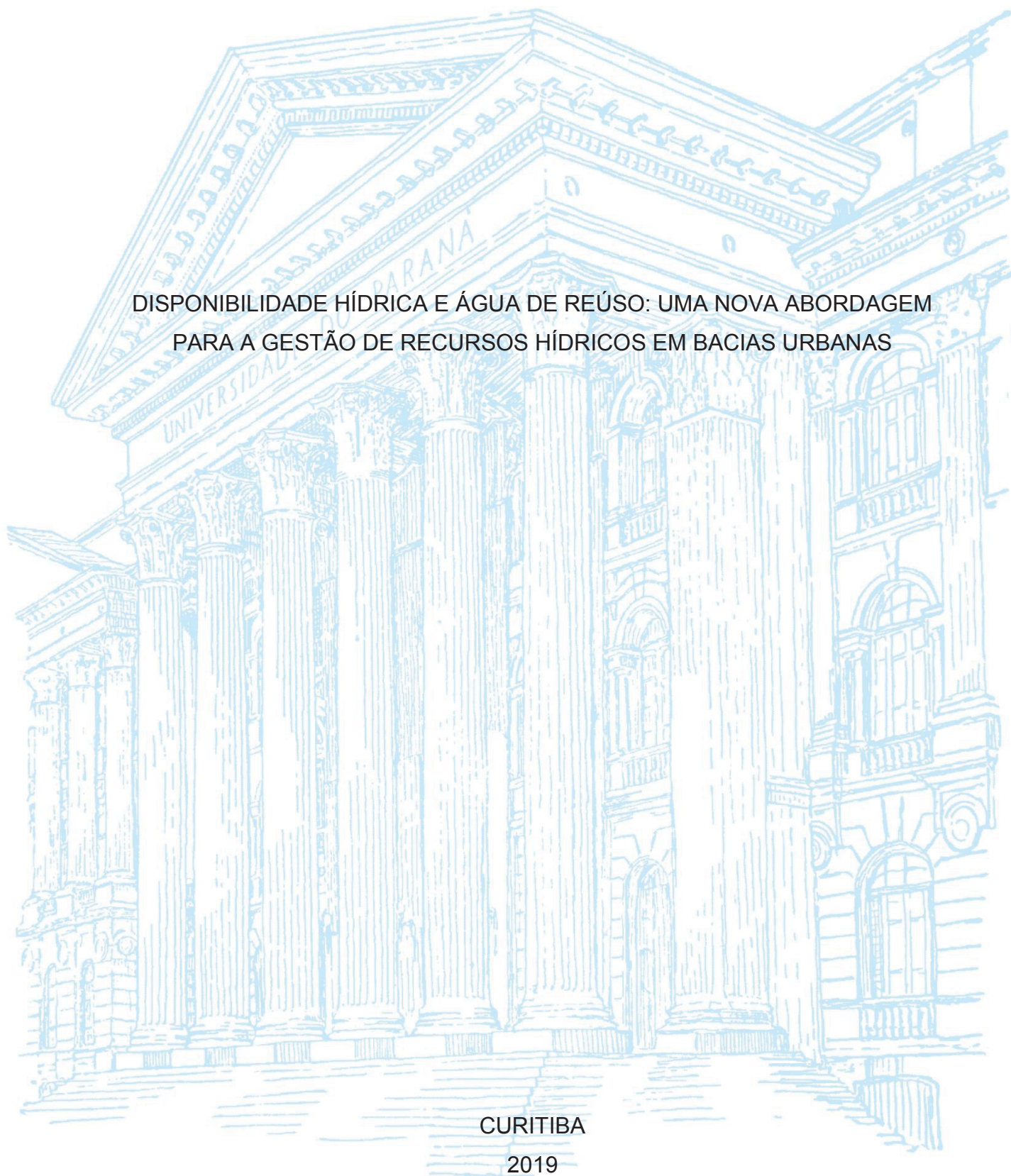
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ELISA STEFAN

DISPONIBILIDADE HÍDRICA E ÁGUA DE REÚSO: UMA NOVA ABORDAGEM
PARA A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS EM BACIAS URBANAS

CURITIBA

2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ELISA STEFAN

DISPONIBILIDADE HÍDRICA E ÁGUA DE REÚSO: UMA NOVA ABORDAGEM
PARA A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS EM BACIAS URBANAS

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambientais, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito à obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Cristóvão V. S. Fernandes, PhD

CURITIBA

2019

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

- S816d Stefan, Elisa
Disponibilidade hídrica e água de reúso: uma nova abordagem para a
gestão de recursos hídricos em bacias urbanas [recurso eletrônico] /
Elisa Stefan – Curitiba, 2019.
- Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e
Ambientais.
Orientador: Prof. Cristóvão Vicente Scapulatempo Fernandes
1. Recursos hídricos - Desenvolvimento. 2. Água – Qualidade. 3
Hidrologia urbana. I. Universidade Federal do Paraná. II. Fernandes,
Cristóvão Vicente Scapulatempo. III. Título.

CDD: 551.48

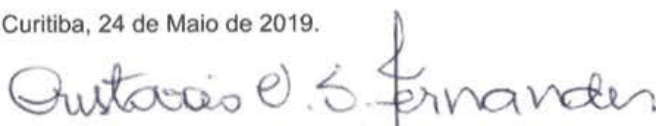
Bibliotecária: Roseny Rivelini Morciani CRB-9/1585

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **ELISA STEFAN**, intitulada: **DISPONIBILIDADE HÍDRICA E ÁGUA DE REÚSO: UMA NOVA ABORDAGEM PARA A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS EM BACIAS URBANAS**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua aprovação no rito de defesa.

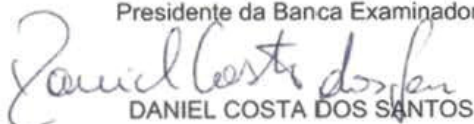
A outorga do título de Mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 24 de Maio de 2019.



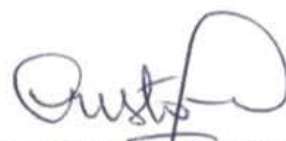
CRISTOVÃO VICENTE SCAPULATEMPO FERNANDES

Presidente da Banca Examinadora



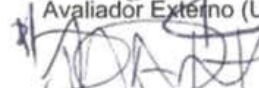
DANIEL COSTA DOS SANTOS

Avaliador Interno (UFPR)



JOAQUIN IGNACIO BONNECARRÈRE GARCIA

Avaliador Externo (USP)



DANIEL HENRIQUE MARCO DETZEL

Avaliador Interno (UFPR)

AGRADECIMENTOS

Inspira e expira, talvez essa seja a página mais difícil de escrever da dissertação, dá um aperto no coração, vontade de abraçar e agradecer. Fazer ciência nesse novo mundo em que a busca pela palavra “water” na internet traz: Aproximadamente 7.880.000 resultados em 0,04 segundos, é um processo intermitente entre o “será que ninguém pensou nisso?” mas “será que essa é a melhor abordagem?”. Passar por todas essas indagações e ter coragem para chegar até aqui só foi possível graças as pessoas que percorreram esse caminho comigo.

Primeiramente o Professor Cristóvão. O Cris, assim que o chamamos, esse apelido é o reflexo exatamente do que ele é: uma pessoa acessível, que não apenas a ciência, mas também tem capacidade incrível de mexer com as pessoas, ajudá-las para além da formação acadêmica e profissional, mas também na formação humana. As vezes muito conservador, as vezes ultra vanguardista, esse ser macarrônico marca a minha vida, e foi uma honra ser sua orientada.

Ao Michael, meu companheiro na expansão do universo, que sentou do meu lado diversas vezes. Foi meu aluno e aprendeu disponibilidade hídrica, água de reúso, curva de permanência (...). Fez tudo ficar mais leve, me envolvendo no seu amor sempre que as palavras e a razão não eram mais suficientes.

Aos amigos que fiz no mestrado,
O Iverson que desde do nosso primeiro dia de aula nos conectamos, e com quem aprendi muito.
O Michel que me trouxe em sua imensidão uma amizade que não cabe apenas em um mestrado, transcende, se espalha, e vai até o chão.
E o João conselheiro de tudo e de energia inigualável.

As amizades que a vida trouxe,
A Anne, a parceria eterna, exímia na arte das conversas capazes de transformar os dias ruins em dias bons.
A Kássia que surgiu assim no final do segundo tempo, mas que chegou ocupando todas as áreas da minha vida, companheira para o mestrado, no trabalho, na escalada, no pedal, na luta, e renovou as minhas energias com esse jeito leve e alegre de lidar com tudo.
A Amanda, esse lado humanas, esse lado emoção, e do meu lado, do início ao fim.
A Nanda, *after all this time? always*.
Ao Israel, por não me deixar esquecer o sentido das coisas.

À família

A Ivone, minha mãe, e ao Leo, meu irmão, por tornarem tudo na vida uma piada gostosa, até no cenário mais apocalíptico, vocês chegam com uma frase e, é na gargalhada leve e gostosa que a vida segue.

Ao Lactec e a Sanepar
Pelas ideias que iniciaram e o apoio financeiro que viabilizaram essa dissertação.

PREFÁCIO

Meados de maio de 2018. Acabo de retornar de uma defesa de mestrado em Sociologia na UFPR de uma grande amiga, em que o título da dissertação é *Do Rolo ao Rolê*. Uma professora avaliadora da banca proferiu a seguinte frase:

“Não apenas o referenciamento, mas dar a sua voz, a sua própria opinião é uma reflexão científica.”

Adam Smith teria conceituado o espectador imparcial como o indivíduo que estaria por hipótese em situação de colocar entre parênteses suas paixões e seus interesses. Já o sociólogo, Max Weber, traz a epistemologia de que *“por mais diferentes que sejam as análises geradas por pontos de vista culturais diferentes, elas sempre serão cientificamente verdadeiras, enquanto não refutadas.”***

O prefácio pode parecer confuso ao leitor, afinal essa pesquisa encontra-se na grande área da engenharia. Entretanto, se pesquisarmos qualquer definição sobre o termo “engenharia” surge o aspecto social como base. A motivação principal da engenharia é a sociedade. Assim, é preciso entender o contexto social desse trabalho e ele é luz de vários conflitos:

- Geração: o fácil acesso à informação e muita informação já gerada, cada vez mais se torna importante filtrar o conhecimento e saber transmiti-lo.
- Nação: enfrentando uma crise política e econômica, e aumento do desemprego.
- Meio ambiente: consciência ambiental desmotivada pela sociedade brasileira. A inserção social em meios urbanos em que as condições dos rios são deploráveis. Concepção distorcida de rios poluídos como sendo “esgotos a céu aberto” por parcela significativa da população, e não da real concepção, um recurso hídrico com vários potenciais de uso.
- Direito: legislação ambiental ainda incipiente em um cenário de desenvolvimento complexo e caótico.
- Ciência: várias perguntas já respondidas, e muitas ainda precisando de resposta. A grande quantidade informações e facilidade da sua obtenção torna a habilidade de manipular e visualizar as grandes quantidades de dados uma nova ciência, possibilitando a identificação de padrões ocultos, e formando uma nova compreensão do conhecimento já existente.

Então, a narrativa desse trabalho científico permeia e é influenciado por esses conflitos individuais e coletivos contemporâneos. É motivado também em desenvolver a visualização de dados de recursos hídricos de modo otimizado, permitindo uma melhor interpretação de padrões e correlações, por meio do processamento da informação de modo holístico e da disponibilização dos dados de modo acessível.

RESUMO

A gestão dos recursos hídricos se desenvolveu de modo linear. Entretanto, o potencial cenário atual de escassez hídrica e a economia mundial indicam a necessidade da transição para um modelo econômico circular. O reúso da água torna o modelo em circular dos sistemas de gestão de recursos hídricos, e com isso impacta positivamente a disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas, uma vez que atuam diretamente reduzindo a necessidade de retirada de água e diminuindo o retorno. Foram usadas séries históricas fluviométricas e dados monitorados de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) do rio Iguaçu na região metropolitana de Curitiba, a fim de estudar a disponibilidade hídrica que inclua qualidade variável dos recursos hídricos, e a introdução de sistema de reúso como uma fonte alternativa de água. Entretanto, devido à escassez de dados de qualidade, foram utilizadas duas abordagens para a composição de séries temporal mensais de DBO. O método de regressão de vazão com a DBO obteve o melhor resultado para ajustes de funções exponenciais de um termo. As regressões da vazão com a DBO apresentaram baixos resultados, com o coeficiente de determinação (r^2) variando de 1% a 16%, mas os dados gerados com a função apresentaram médias próximas as das concentrações amostradas. A segunda abordagem consistiu na simulação das concentrações de outorga com auxílio do software AcquaNet que usa as equações de Streeter-Phelps em sua base de cálculo. As concentrações de DBO no rio com essa simulação apresentaram valores menores que as amostradas, o que se deve a não consideração das fontes difusas de poluentes. Essa abordagem possibilitou avaliar que apenas as concentrações outorgadas já são responsáveis por deixar a qualidade da água na classe 2, segundo o enquadramento do CONAMA 357/2005. As séries de concentrações foram analisadas quanto a frequência nas faixas de concentrações estabelecidas pelo enquadramento dos recursos hídricos, o que resultou em uma classificação variável do rio Iguaçu. A fim de avaliar a disponibilidade hídrica com a introdução de sistema de reúso para a finalidade industrial foram estudadas taxas de reciclagem dos efluentes oriundos da ETE Cachoeira, e do polo industrial e taxas de captação, de forma a compor 10 cenários. A série gerada através da regressão demonstrou a necessidade de tratamento da água para uso industrial em 100% do tempo, enquanto a série de concentrações obtidas através da simulação das outorgas ficaram dentro do limite, e deste modo não necessitaria de tratamento prévio. O aumento da captação, aumentando a diluição da mistura da água com os efluentes, diminuiu a eficiência de tratamento necessário para o uso. A partir da captação de 50% do volume possível de ser captável, as concentrações de DBO devido ao reúso passam estar diluídas na proporção de que a eficiência requerida de tratamento é próxima a necessária para o cenário sem o reúso. Essa pesquisa demonstrou a necessidade da contemplação da variabilidade da qualidade da água e a inserção de sistemas de reúso na avaliação da disponibilidade hídrica, e deste modo subsidiar a tomada de decisões da alocação dos recursos hídricos.

Palavras-Chave: Disponibilidade Hídrica, qualidade da água variável, Reúso de água

ABSTRACT

The Brazilian water resources management has developed in a linear way. However, the current scenario water scarcity and a world economy showed that is necessary for the transition to circular economy. model. Water reuse allow change the model to circular economy, and thus positively impacts the watershed's water availability. Hydrological historical series and BOD measurements from the Iguassu river in Curitiba's metropolitan area were used to study its water availability, considering variable quality of the water resources, and the introduction of water reuse systems as an alternative water source. However, due to the scarcity of quality data, two approaches were used to compose synthetic monthly BOD series. The correlation method between water flow and BOD obtained the best result for one term exponential equation adjustments. Correlations between water flow and BOD showed r^2 varying between 1% and 16%, but data generated with the equation showed averages values close to the sampled concentrations. The second approach used the Streeter-Phelps equations with software AcquaNet to simulate the concentrations of granted concessions. The river's BOD concentrations presented lower values than the sampled concentrations, which happened because the the diffuse pollution sources were not considered. This approach allowed to evaluate that the granted concentrations alone are enough to turn the water quality to class 2, in accordance to the CONAMA 357/2005 framework. The concentrations series were analyzed for concentration frequency in the ranges established by the water resources framework, which resulted in a variable classification of the Iguassu river. In order to evaluate the water availability with the introduction of a reuse system for the industrial purpose, effluent recycling rates from ETE Cachoeira and the industrial area and catchment rates were studied and with them were composed 10 scenarios. The series generated through correlation demonstrated the need to treat water for industrial use in 100% of the time, while the series of concentrations obtained through the simulation of the grant's concentrations were within the limit, and thus would not require prior treatment. Increasing the catchment affects the effluent dilution, so decreased the treatment efficiency required for the use. From the 50% catchment of the total available volume, the BOD's concentrations due to reuse become diluted in the proportion that the required treatment efficiency is close to that required for the scenario without the reuse.

Key-words: Water availability, variable water quality, Water reuse

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - FLUXOGRAMA SÍNTESE DO MÉTODO	19
FIGURA 2 - MARCOS REGULATÓRIOS DA ÁGUA NO BRASIL.	22
FIGURA 3 - CAMINHO DA ÁGUA: A ÁGUA É CAPTADA, TRATADA, E DISTRIBUÍDA PARA DIVERSOS USUÁRIOS. MODELO LINEAR NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS.....	24
FIGURA 4 - MODELO CIRCULAR NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS	28
FIGURA 5: CONTAS DA ÁGUA NO BRASIL EM 2016.....	32
FIGURA 6 - CLASSES DE ENQUADRAMENTO DAS ÁGUAS DOCES E RESPECTIVOS USOS DO CONAMA 357/2005. FONTE: ANA (2018)	37
FIGURA 7: PROGRAMA DE GESTÃO DE ÁGUA. FONTE: CEBDS (2016) APUD. MIERZWA “ÁGUA NA INDÚSTRIA, E USO RACIONAL E REUSO.” (2007).....	39
FIGURA 8: ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE REUSO NO CURTO E MÉDIO PRAZO.....	42
FIGURA 9 - INTERFACE DO SOFTWARE ACQUANET	46
FIGURA 10: DISPONIBILIDADE HÍDRICA UMA RELAÇÃO ENTRE QUANTIDADE, QUALIDADE E FINALIDADE.	52
FIGURA 11 - LOCALIZAÇÃO DO ALTO-IGUAÇU	54
FIGURA 12 - PONTOS MONITORADOS PELO INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ.	56
FIGURA 13 - ÁREA DE ESTUDO	58
FIGURA 14B: ENTRADA DA ÁGUA CAPTADA PARA TRATAMENTO PELA ETA INDUSTRIAL. FOTO: AUTORA.....	58
FIGURA 15B: FOTO DA INTERFACE DO MONITORAMENTO DA ETA INDUSTRIAL. FOTO: AUTORA.....	59
FIGURA 16 - FLUXOGRAMA DA OBTENÇÃO DE DADOS.	61
FIGURA 17 - DIAGRAMA TOPOLÓGICO DAS DEMANDAS DO RIO IGUAÇU, COM BASE NOS DADOS DO INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ REFERENTE A DATA DE MAIO DE 2018.....	62

FIGURA 18 - IMAGEM DA REDE CRIADA PARA SIMULAÇÃO NO SOFTWARE ACQUANET COM A INTRODUÇÃO DOS DADOS GEORREFERENCIADOS DOS PONTOS OUTORGADOS.	64
FIGURA 19 - REÚSO DE ÁGUA DA ETE CACHOEIRA COM O REDIRECIONAMENTO DO FLUXO PARA ETA INDUSTRIAL.	65
FIGURA 20: CURVAS EXPONENCIAIS AJUSTADAS PARA TODOS OS PONTOS DE MONITORAMENTO DO RIO IGUAÇU	72
FIGURA 21 - GRÁFICOS DA SÉRIE TEMPORAL DE DBO E DA DBO MONITORADA.....	73
FIGURA 22: GRÁFICOS DAS CURVAS DE PERMANÊNCIA PARA DADOS DIÁRIOS E MENSAIS DE CONCENTRAÇÃO E VAZÃO	74
FIGURA 23: CURVAS DE PERMANÊNCIA DA VAZÃO PARA OS PONTOS DE MONITORAMENTO DO ALTO IGUAÇU	75
FIGURA 24: ANÁLISE DA FREQUÊNCIA DA DBO MONITORADA NAS CLASSES DE ENQUADRAMENTO	76
FIGURA 25: ANÁLISE DA FREQUÊNCIA DA SÉRIE TEMPORAL DE DBO NAS CLASSES DE ENQUADRAMENTO	77
FIGURA 26: GRÁFICO DAS SÉRIES TEMPORAIS DE DBO PELA REGRESSÃO E SIMULADA PELO ACQUANET PARA O PONTO IG4.	78
FIGURA 27: GRÁFICOS BOXPLOT E CURVAS DE PERMANÊNCIA DO DADOS DE DBO NO PONTO IG4.....	79
FIGURA 28: BOXPLOTS MÊS A MÊS DOS DADOS DE VAZÃO E DE CONCENTRAÇÕES DE DBO.....	82
FIGURA 29 : VAZÃO DE 95% MÊS A MÊS A PARTIR DOS DADOS MENSAIS DE VAZÃO PARA 12 ANOS	84
FIGURA 30: CONCENTRAÇÃO DE 95% MÊS A MÊS A PARTIR DA REGRESSÃO	84
FIGURA 31: CONCENTRAÇÃO DE 95% MÊS A MÊS A PARTIR DAS OUTORGAS	84
FIGURA 32: DBO SÉRIE TEMPORAL PELA REGRESSÃO	88
FIGURA 33: GRÁFICOS DOS CENÁRIOS DE REÚSO COM A SÉRIE DE DBO AMOSTRADA. EIXO PRINCIPAL: CONCENTRAÇÕES DE MISTURA (ÁGUA CAPTADA RIO + RECICLO ETE + RECICLO INDUSTRIAL).	

EIXO SECUNDÁRIO: AS EFICIÊNCIAS DE TRATAMENTO PARA PADRÃO DE DBO DA EPA, 10 MG/L.....	88
FIGURA 34: DBO ACQUANET	89
FIGURA 35: INFOGRÁFICO DO CENÁRIO DE MAIOR DISPONIBILIDADE HÍDRICA SEGUINDO A ESTRATÉGIA 1	92
FIGURA 36: INFOGRÁFICO DO CENÁRIO DE MAIOR APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE REÚSO SEGUINDO A ESTRATÉGIA 2	93
FIGURA 37: INFOGRÁFICO DO CENÁRIO DE MAIOR DISPONIBILIDADE HÍDRICA SEGUINDO A ESTRATÉGIA 3	94

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1- REDUÇÃO DE CUSTOS POSSÍVEIS EM CADA FASE DO SISTEMA	29
QUADRO 2: SÍNTESE DE PESQUISAS DE INTRODUÇÃO DE SISTEMAS DE REÚSO NO BRASIL	43
QUADRO 3 - SÍNTESE DOS PRINCIPAIS ESTUDOS DE ALOCAÇÃO COM ACQUANET QUE FUNDAMENTARAM A ABORDAGEM METODOLÓGICA DO PRESENTE ESTUDO	50
QUADRO 4: SÍNTESE DOS CÁLCULOS UTILIZADOS PARA DETERMINAÇÃO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA	51
QUADRO 5: SÍNTESE DAS EQUAÇÕES USADAS NA SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS DE REÚSO DE ÁGUA	69

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - DIFERENÇAS NAS VAZÕES MÍNIMA DE REFERÊNCIA, LIMITE DE USO DA BACIA E LIMITE DE USO INDIVIDUAL ENTRE DIFERENTES UNIDADES DA FEDERAÇÃO.....	35
TABELA 2 - LIMITES DE PARÂMETROS DE QUALIDADE PARA CADA CLASSE DA RESOLUÇÃO DO CONAMA.....	38
TABELA 3 - QUALIDADE DA ÁGUA DE REFERÊNCIA DO EPA PARA USINA DE GERAÇÃO DE ENERGIA.	45
TABELA 4 - CAPTAÇÕES OUTORGADAS VIGENTES EM MAIO DE 2018 PELO INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ.	55
TABELA 5 - EFLUENTES OUTORGADOS VIGENTES NA DATA DE MAIO DE 2018 PELO INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ.....	55
TABELA 6 – INFORMAÇÕES GERAIS DOS PONTOS DE MONITORAMENTO.....	57
TABELA 7 - DISPONIBILIDADE QUANTITATIVA DO RIO IGUAÇU.....	75
TABELA 8: SÍNTESE FREQUÊNCIA DOS DADOS QUALI-QUANTITATIVOS PARA O PONTO IG4.....	80
TABELA 9: SÍNTESE DOS CENÁRIOS ESTUDADOS DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA COM INTRODUÇÃO DO REÚSO.....	86
TABELA 10: SÍNTESE DA EFICIÊNCIA DE TRATAMENTO NECESSÁRIA PARA CADA CENÁRIO COM A O USO DOS DADOS DE CONCENTRAÇÕES DOS DIFERENTES MÉTODOS.....	90

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	4
RESUMO.....	8
1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	17
1.2 ABORDAGEM METODOLÓGICA.....	18
1.3 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA.....	20
2 ÁGUA DE REÚSO E A ECONOMIA CIRCULAR NO BRASIL	21
2.1 PARADIGMA ATUAL DOS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL	21
2.2 ÁGUA DE REÚSO.....	24
2.3 ECONOMIA CIRCULAR.....	25
2.3.1 ECONOMIA CIRCULAR NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS	27
2.4 SÍNTESE DO CAPÍTULO.....	31
3 DISPONIBILIDADE HÍDRICA.....	32
3.1 ALOCAÇÃO DE ÁGUA POR OUTORGA DE USO	35
3.2 USUÁRIOS E O USO: DA CAPTAÇÃO AO RETORNO	36
3.3 QUALIDADE DA ÁGUA DOS CORPOS HÍDRICOS	37
3.4 ESTRATÉGIAS DE GESTÃO PARA PRESERVAÇÃO E CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS.....	38
3.4.1 IMPACTOS DA CONSERVAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA ÁGUA NA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS PARA OS MÚLTIPLOS USOS.....	40
3.5 AUMENTO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA COM SISTEMA DE REÚSO	41
3.5.1 QUALIDADE PARA REUSAR A ÁGUA.....	44
3.6 SISTEMAS DE SUPORTE A DECISÃO PARA ALOCAÇÃO DE ÁGUA E O ACQUANET	46
3.6.1 MÓDULO DE QUALIDADE DA ÁGUA	47
3.6.2 APLICAÇÕES DO ACQUANET	49
3.7 ESTUDOS DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA	51
3.8 SÍNTESE DO CAPÍTULO.....	52
4 O DESAFIO DA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS EM BACIAS URBANAS – ESTUDO DE CASO DO ALTO IGUAÇU	54
5 MÉTODO.....	60
5.1 LEVANTAMENTO DE DADOS	60

5.2 GERAÇÃO DE SÉRIE TEMPORAL DE DBO	63
5.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS DOS DADOS	63
5.4 SIMULAÇÃO ACQUANET	64
5.5 REÚSO DE ÁGUA.....	65
5.6 DISPONIBILIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO	70
6 RESULTADOS.....	71
6.1 SÉRIE TEMPORAL DE DBO PARA AS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO DO ALTO IGUAÇU	71
6.2 VARIABILIDADE DADOS DIÁRIOS E MENSAIS.....	74
6.3 DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO ALTO IGUAÇU	75
6.4 DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO PONTO IG4	78
6.4.1 COMPARAÇÃO DAS SÉRIES GERADAS PELA REGRESSÃO E COM DADOS DE OUTORGA.....	78
6.4.2 VARIABILIDADE TEMPORAL.....	81
6.5 DISPONIBILIDADE HÍDRICA COM A INTRODUÇÃO DE SISTEMAS DE REÚSO	85
6.6 INTEGRAÇÃO: DISPONIBILIDADE HÍDRICA, ÁGUA DE REÚSO E ECONOMIA CIRCULAR	95
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	96
REFERÊNCIAS.....	99
APÊNDICE 1 – ETAPA PRÉ-SIMULAÇÃO - LEVANTAMENTO DE DADOS.....	104
APÊNDICE 2 – CURVAS DE PERMANÊNCIA E HIDROGRAMAS DO CENÁRIO 1	105
APÊNDICE 3 – AJUSTES DAS CURVAS DE DBO EM FUNÇÃO DA VAZÃO.....	107

1 INTRODUÇÃO

Até 2020, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) tem como meta desenvolver ações para a promoção do uso sustentável e reúso da água (CNRH, 2016). O sistema de reúso da água não é algo novo, entretanto o cenário atual tem fortalecido a necessidade da implantação de sistemas alternativos de água.

Entre 2012 e 2016, o Brasil enfrentou uma crise hídrica, que segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2014), iniciou decorrente do conjunto de fatores: do aumento da demanda, da qualidade comprometida dos recursos hídricos e da diminuição do nível das chuvas. Esta crise requereu medidas de emergência, como o racionamento da água nas áreas afetadas.

Em contrapartida, projetos de água de reúso emergem como solução, mesmo que ainda sem regulamentações definidas. Um exemplo é o projeto de água de reúso Aquapolo, que abastece o Polo Petroquímico no ABC Paulista com a reciclagem do efluente da estação de tratamento de esgoto (ETE - ABC). O volume de água reciclada, 1000 L/s, seria o suficiente para abastecer uma cidade de 500 mil habitantes.

Projetos de água de reúso como o Aquapolo promovem o crescimento econômico, a qualidade da água para o uso industrial difere da qualidade da água potável, o que reduz os custos associados a produção e tratamento da água (EPA, 2014). Outro viés positivo da adoção do sistema de reúso é o benefício ambiental. A água proveniente da estação de tratamento de esgoto deixa de ser lançada nos rios, o que diminui a entrada de nutrientes nos corpos receptores. O projeto Aquapolo reduziu a entrada de 584 mil kg/ano de amônia e 31.390 kg/ano de fósforo (ANA, 2012), o que concedeu o prêmio de projeto sustentável da Agência Nacional de Águas em 2012.

Internacionalmente, o conceito de Economia Circular (EC) está ganhando força nos setores de produção sob a perspectiva de promover soluções economicamente favoráveis que garantam a sustentabilidade dos recursos naturais. Enquanto a gestão dos recursos hídricos no Brasil se desenvolveu de modo linear em que a água utilizada pela sociedade e retorna aos corpos receptores, a introdução de sistemas de reúso rompe a lógica linear, e possibilita a transformação do sistema dentro do conceito de Economia Circular. Uma segunda consequência é que o

efluente que antes era um passivo, passa a ser um recurso com potencial de uso, incorporando ao volume de água para a disponibilidade hídrica dos usuários.

A introdução de sistemas de água de reúso impactam positivamente a disponibilidade hídrica das bacias, uma vez que atuam diretamente reduzindo a necessidade de retirada de água e diminuindo o retorno. Isso permite também que um volume maior de água fique disponível para demais usos na bacia. O efluente sanitário tratado deixa de ser um descarte, e passa a ser um recurso com potencial de uso para finalidades específicas.

A água disponível é comumente avaliada em termos da probabilidade de ocorrência das vazões, e desarticulada da qualidade da água, que em contraposição é examinada como uma constante, em que é desprezada a variação temporal das concentrações de poluentes na água. Ao mesmo tempo, há a dificuldade de encontrar dados de qualidade diários dos corpos hídricos para análises temporais da qualidade da água.

A gestão dos recursos hídricos no Brasil, ainda carece de subsídios políticos que fomentem projetos de reúso como o do Aquapolo, que além do aspecto legal, deve integrar também aspectos hidrológicos, ambientais, econômicos, e sociais, considerando ainda a variabilidade no tempo para a tomada de decisões (PORTO e AZEVEDO, 1997).

Nesse cenário essa pesquisa é motivada em estudar essa nova abordagem na gestão de recursos hídricos que integre os sistemas de reúso sob a perspectiva de aumento da disponibilidade hídrica e como consequência a transformação do sistema hídrico em um sistema de Economia Circular. A disponibilidade hídrica sendo considerada não apenas quanto à análise da quantidade (vazões), mas também integrada com a qualidade (concentrações de compostos). Para isso foi realizado um estudo de caso na bacia do Alto Iguaçu, onde está localizado o complexo industrial na região metropolitana de Curitiba (PR), que precisa expandir a produção e a água é um fator limitante.

1.1 OBJETIVOS

Avaliar uma nova abordagem na gestão de recursos hídricos que integre sistemas de reúso com o sistema circular sob a perspectiva de disponibilidade hídrica.

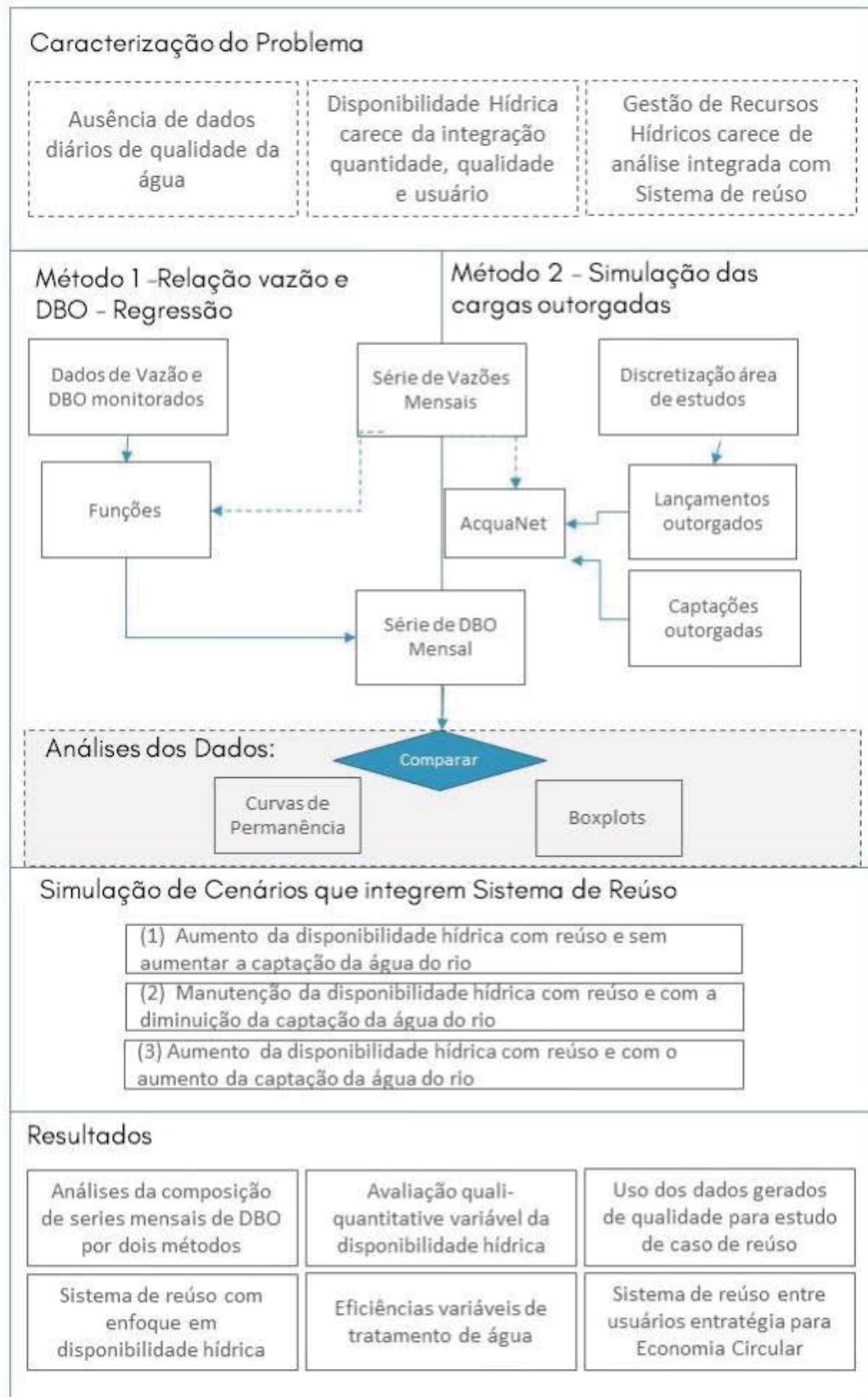
Objetivos específicos:

1. Revisar as políticas de sistema de reúso de água, e introdução do conceito de economia circular no contexto da gestão de recursos hídricos.
2. Análise quali-quantitativa do cenário atual dos recursos hídricos na região metropolitana de Curitiba.
3. Análise quali-quantitativa de cenário de introdução do reúso de água no rio Iguaçu.
4. Disponibilizar as informações e resultados gerados de modo otimizado e acessível em uma página Web.

1.2 ABORDAGEM METODOLÓGICA

A FIGURA 1 apresenta uma síntese da abordagem metodológica utilizada nessa pesquisa.

FIGURA 1 - FLUXOGRAMA SÍNTESE DO MÉTODO



Resumidamente, foram selecionados quatro pontos de monitoramento de água na unidade hidrográfica do Alto Iguaçu para estudo de disponibilidade que contemple a qualidade, a quantidade, e a inserção de sistema de reúso. A quantidade foi avaliada com séries históricas - de período de 12 anos - de vazão mensal. O parâmetro de qualidade escolhido para análise foi a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), e para consideração da variabilidade das concentrações foram estabelecidas séries temporais de qualidade por dois métodos distintos. O primeiro método consiste na regressão da DBO com a vazão, com a função estabelecida foram geradas séries de concentrações mensais de DBO. O segundo método foi a simulação das cargas lançadas outorgadas, considerando as concentrações iniciais no rio nulas, com o auxílio do AcquaNet que aplica as equações de Streeter-Phelps. A disponibilidade hídrica foi avaliada através de análises estatísticas de ocorrência das vazões e da DBO. Por fim, foram simulados cenários de reúso no intuito de pesquisar os efeitos na disponibilidade hídrica para o usuário e na bacia hidrográfica.

1.3 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

Essa pesquisa surgiu decorrente de um projeto de consultoria prestada pelos institutos Lactec a usina de geração de energia de Araucária (UEGA). O projeto visa avaliar soluções para usina que tem a necessidade de ampliar as operações, e com isso também, aumentará a demanda de água.

A UEGA atualmente usa água proveniente da estação de tratamento de água industrial (ETA Ind) operada pela companhia de saneamento de água do estado do Paraná (Sanepar). A água fornecida atende critérios de qualidade estipulados em contrato, que difere do padrão de qualidade de água para fins potáveis. A água é captada no rio Iguaçu, e 100 metros a jusante do ponto de captação há o lançamento de água pela estação de tratamento de esgoto (ETE Cachoeira).

O projeto dos institutos Lactec tem previsão para terminar em 2020 e tem como objetivo avaliar a melhor solução econômica e ambiental para ampliação da oferta hídrica para a UEGA.

2 ÁGUA DE REÚSO E A ECONOMIA CIRCULAR NO BRASIL

A gestão dos recursos hídricos se desenvolveu de modo linear seguindo o sistema de captação, tratamento, uso, tratamento do efluente e descarte no fim do processo. Entretanto, o cenário atual de escassez hídrica e a economia mundial indicam a necessidade da transição para um modelo de economia circular, para garantir princípios de sustentabilidade.

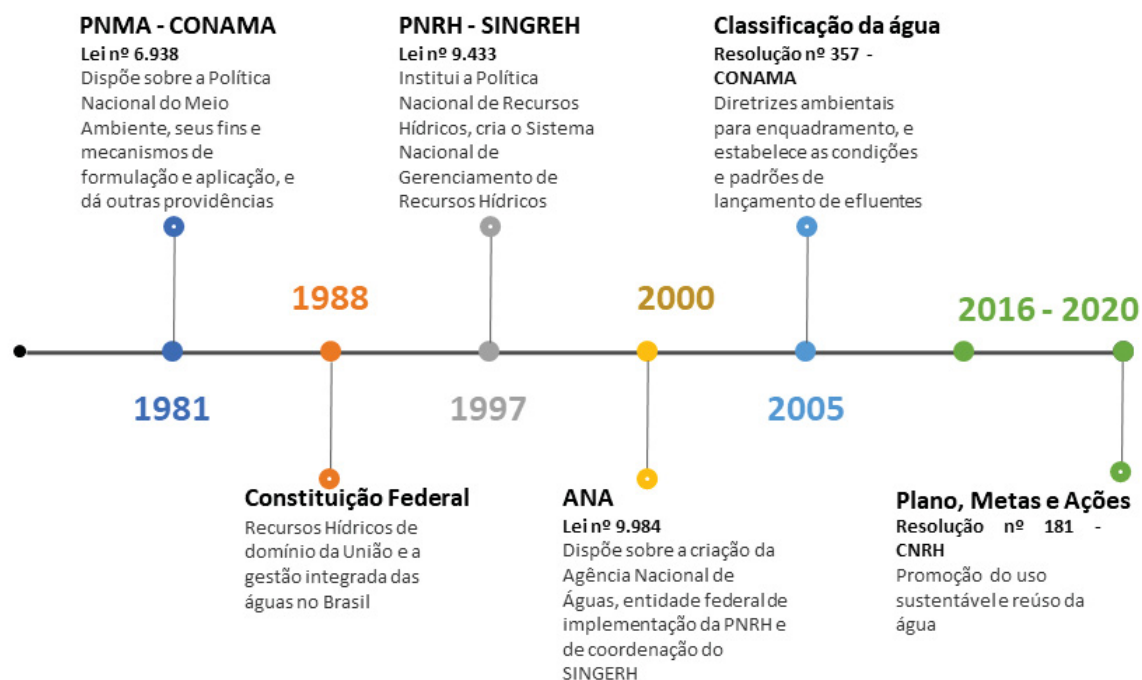
A política da água no Brasil ainda é recente, com apenas 30 anos de evolução, se desenvolveu de modo não integrado, desarticulada as partes do sistema, ou seja, sob aspecto reducionista. O Conselho Nacional de Recursos Hídricos visa até 2020 desenvolver ações para a promoção do uso sustentável e a integração com sistema de reúso da água (CNRH, 2016). Surge a oportunidade então de um planejamento para o país evoluir para um modelo circular de economia com a introdução e disseminação de sistemas de reuso no contexto da gestão de recursos hídricos.

Neste capítulo primeiramente foi feita uma revisão bibliográfica do cenário do setor de recursos hídricos no Brasil contemplando: as diretrizes políticas, o sistema atual (modelo linear), e o levantamento qualitativo de algumas das perdas econômicas e ambientais desse modelo. Também foram revisados os conceitos do modelo circular de economia, e relacionado aos recursos hídricos através da inserção do sistema de água de reúso. Em sequência é feita uma análise qualitativa econômica da transformação do sistema de linear para circular.

2.1 PARADIGMA ATUAL DOS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL

O setor de recursos hídricos no Brasil se desenvolveu por muito tempo sem regulamentações. As preocupações com o meio ambiente ganharam espaço jurídico apenas em 1981, conforme inicia a revisão pelos marcos regulatórios dos recursos hídricos ilustrada na FIGURA 2.

FIGURA 2 - MARCOS REGULATÓRIOS DA ÁGUA NO BRASIL.



FONTE: AUTORA

Nesse ano, cria-se a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), que designou o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Esse órgão ficou responsável pelos princípios jurídicos sobre a proteção das águas, estabelecendo normas, critérios e padrões relativos ao controle e qualidade do meio ambiente, devendo priorizar o uso racional dos recursos ambientais, e incentivar a criação da gestão de recursos ambientais e dos Comitês de Bacia Hidrográfica.

A nova constituição de 1988 institui que os recursos hídricos são de responsabilidade da União. Entretanto, é só no ano de 1997 que os recursos hídricos no Brasil ganham pauta com o Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e a água passa a ser legalmente considerada como recurso limitado e dotado de valor econômico. A PNRH, insere também seis instrumentos para gestão:

- I - os Planos de Recursos Hídricos;
- II - o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água;
- III - a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;
- IV - a cobrança pelo uso de recursos hídricos;

V - a compensação a municípios, posteriormente vetada;

VI - o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

A gestão passa ter caráter descentralizado, e que deve contar com a participação do poder público, dos usuários e das comunidades.

No intuito de satisfazer o cumprimento das diretrizes da lei do PNRH, foi criada, três anos depois, a Agência Nacional de Águas (ANA). A agência é responsável pela regulação, o monitoramento e o planejamento pertinente aos recursos hídricos. Assim, em 2005 surge o enquadramento para os rios e demais águas superficiais brasileiras, dispondo de parâmetros de qualidade da água para classificar os rios quanto ao nível de poluição.

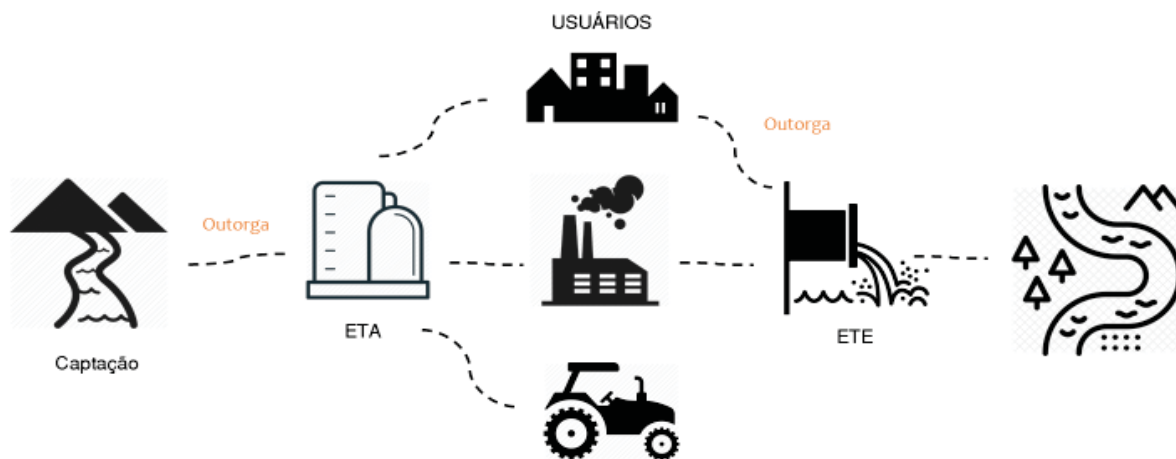
Em dezembro de 2016, foi emitido pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) a resolução nº 181, que aprovou as prioridades, ações e metas do Plano Nacional de Gestão de Recursos Hídricos para 2016-2020. Entre as prioridades, o plano visa desenvolver ações para a promoção do uso sustentável e reúso da água. Foram definidas as seguintes metas:

(...)(i) Discutir, propor e aprovar resoluções e portarias relativas ao reúso e usos sustentáveis da água; (ii) Fomentar projetos, unidades experimentais de reúso e captação de água da chuva, em bacias hidrográficas críticas; (iii) Definir diretrizes e critérios para o reúso e uso sustentável da água (CNRH, 2016).

O desenvolvimento da gestão dos recursos hídricos focou em atender o consumo humano e se consolidou no modelo de economia linear: captação, tratamento de água, consumo, tratamento do esgoto, e disposição final (FIGURA 3).

Na etapa de captação, apesar do Brasil possuir a maior reserva de água doce do mundo, 12% do volume total do planeta, a água não está igualmente distribuída. Isso gera um estresse hídrico em regiões metropolitanas, principalmente devido ao aumento e adensamento populacional.

FIGURA 3 - CAMINHO DA ÁGUA: A ÁGUA É CAPTADA, TRATADA, E DISTRIBUÍDA PARA DIVERSOS USUÁRIOS. MODELO LINEAR NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



FONTE: AUTORA

Outro fator que consolida o cenário de estresse hídrico é a qualidade comprometida das bacias. Segundo a ANA (2017), apenas 7% das águas urbanas é classificada como excelente.

Após a captação, a água é tratada em estações de tratamento de água (ETA). Tradicionalmente, a água é tratada com padrões de água potável, e distribuída para diversos usos. A quantidade e a qualidade necessárias entre os diferentes usuários (domiciliar, industrial e agrícola), entretanto, não é a mesma. Usar a água potável para diferentes propósitos, como para a indústria, gera uma perda de recursos econômicos, energéticos e ambientais (EPA, 2012).

Após o uso da água, ocorre um novo tratamento em estações de tratamento de esgoto (ETE), quando é por fim descartada. O descarte da água nem sempre ocorre na mesma bacia de origem. A transferência de grandes volumes de água de fontes distantes e volumes adicionais de esgoto, geram também impactos ambientais e econômicos (Hespanhol, 2008).

2.2 ÁGUA DE REÚSO

Conforme visto na seção anterior ainda não há subsídios legais para o sistema da água de reúso no âmbito nacional. O que existe apenas, são duas citações sobre o reúso: a resolução CNRH nº 54/2005 e a norma NBR 13969/1997.

A NBR 13969, trata sobre tanques sépticos, unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos. Entretanto, inclui um item dedicado ao reúso, com a definição de classes e indicação de padrões de qualidade, que descreve as unidades de pós-tratamento e sugere alternativas de disposição final de efluentes líquidos de tanques sépticos. As classes dizem respeito à finalidade da água:

- Classe 1: Lavagem de carros e outros usos;
- Classe 2: Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes;
- Classe 3: Reúso nas descargas dos vasos sanitários;
- Classe 4: Reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.

Assim, a NBR é restrita a reúsos de pequena escala. Estudos científicos como o de Hespanhol (2008) têm trazido a importância da inclusão dos sistemas de reúso no aspecto nacional, sugerindo que as diretrizes para implementação de políticas de reúso devem contemplar aspectos tanto quanto da finalidade do reúso como da origem da água reusada. O autor recomenda também que as fases iniciais de programas de reúso contemplem o setor industrial, mais especificamente se concentrem no uso para torres de resfriamento, sob a premissa da alta demanda de água e dos níveis de tratamento relativamente baixos.

Na ausência de normas nacionais, as definições de categorias de reúso água pela Organização Mundial da Saúde (1973) serão adotadas neste estudo:

- Reúso direto: uso da água planejado e deliberado de esgotos tratados para finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável.
- Reúso indireto: ocorre quando a água já usada, uma vez ou mais vezes para o uso doméstico ou industrial, é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizadas novamente a jusante, de forma diluída.
- Reciclagem interna: é o reúso da água internamente a instalações industriais.

2.3 ECONOMIA CIRCULAR

O modelo de economia circular (EC) tem ganhado foco nos estudos científicos. Entre 2009 e 2017, o número de artigos sobre o tema na ScienceDirect

subiu 265%. Não existe um registro exato do surgimento do conceito de economia circular. Há uma convergência de várias áreas do conhecimento sobre a necessidade de tornar cíclico o uso dos recursos naturais, o que nos últimos anos tem sido sintetizado no conceito de economia circular.

A economia circular é uma nova escola de pensamento no desenvolvimento sustentável e foca em tornar os processos cíclicos, aumentando o tempo de vida dos recursos no sistema de modo a desenvolver economicamente e preservar o meio ambiente. Segundo Feng (2004, apud YUAN et. al, 2006) os princípios do “3R” - redução, reutilização e reciclagem de materiais e energia - são citados para descrever as três abordagens possíveis na prática que possibilitam o fechamento dos ciclos dos processos. A estratégia exige uma reforma completa de todo o sistema de atividade humana, que inclui tanto os processos de produção quanto as atividades de consumo (YUAN et al, 2006).

Muitos processos são naturalmente cíclicos, como o ciclo da água, ciclo do carbono, e do nitrogênio. A sociedade, no entanto, se desenvolveu de modo linear, em que os recursos utilizados são descartados no final dos processos. A fundação Ellen Macarthur (2012), estabeleceu alguns princípios qualitativos da capacidade cíclica do sistema: (i) Preservar e aumentar o capital natural; (ii) Otimizar a produção de recursos; (iii) Manter a eficácia do sistema.

Segundo Xie (2001 apud HESHMATI, 2015) a implementação de políticas de EC devem ocorrer simultaneamente em três níveis de agregação: micro, meso e macro. Pesquisas como a de Ma (2014) que analisou estudo de caso de economia circular na indústria siderúrgica, de Li (2015) que avaliou uma produção sustentável através de fechamentos de ciclos para fábricas de papel, e a pesquisa de Despeisse (2015) que avaliou soluções para destinação de veículos reinserido ao processo de produção, compõe as práticas para a implementação em escala micro da economia circular.

No contexto da China, o nível macro é destinado às principais cidades ou regiões / províncias, e tem sido precursora no modelo de economia circular, regulando e fomentando a implementação através de agências governamentais: o Ministério de Proteção ao Meio Ambiente e a Comissão Nacional de Reformas e Desenvolvimento. (HESHMAT, 2015).

Segundo Heshmat (2015), os objetivos dos princípios “3Rs” podem ser alcançados através da concepção e gestão adequadas e configurar uma simbiose da

infraestrutura urbana, da produção industrial e da agricultura, através de programas públicos, e incentivos para eliminar progressivamente as tecnologias intensivas em energia e poluentes substituindo por tecnologias favoráveis ao ambiente.

A Comissão da União Europeia (UE), em dezembro de 2015, adotou o Plano de Ação da Economia Circular (*Circular Economy Action Plan*), a fim de fomentar o desenvolvimento e transição para um modelo económico sustentável. O plano de ações é uma análise do ciclo de vida dos produtos, adotando uma abordagem sistémica que promove parcerias ao longo de toda a cadeia de valor e em diferentes setores, incluindo uma mistura entre as iniciativas voluntárias e ações regulatórias ao longo da produção, consumo, gestão de resíduos e matérias-primas (Comissão Europeia, 2019). A comissão estabelece as seguintes diretrizes a serem desenvolvidas:

- Produtos de design e processos sustentáveis, que facilitem a ciclagem no sistema (*Circular Design and Production Processes*)
- Empoderamento dos consumidores (*Empowering Consumers*)
- Transformação de rejeitos em recursos (*Turning Waste into Resources*)
- Fechamento de ciclos com a restauração dos recursos (*Closing Loops of Recovered Materials*)

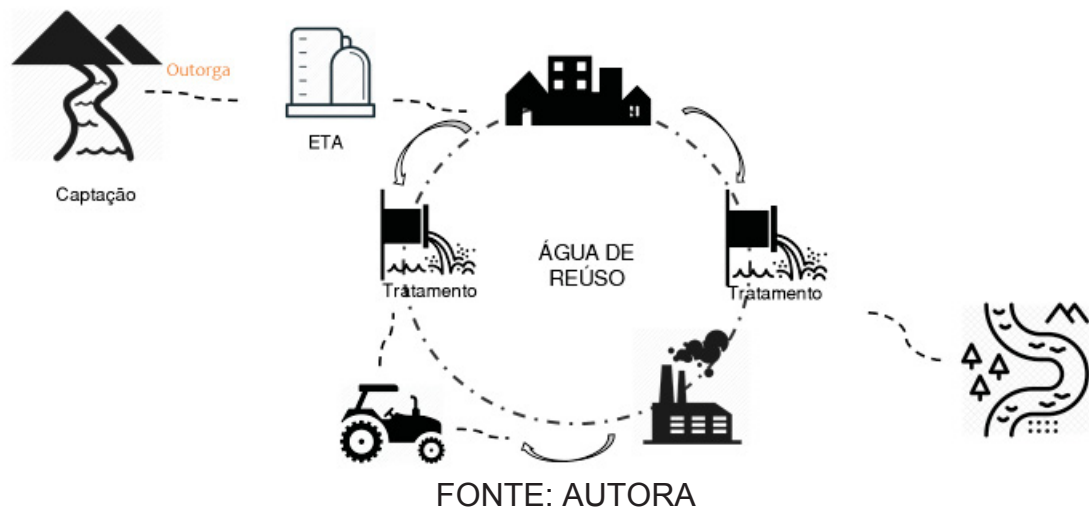
Entre as ações pertinentes ao fechamento de ciclos, pretende-se estabelecer ações sobre reutilização de água, incluindo uma proposta legislativa sobre os requisitos mínimos para a reutilização de águas residuais. O Plano de Ação da Economia Circular visa também impulsionar o mercado de água de reuso, a fim de combater a escassez de água em toda a UE. Sugere ainda, que as práticas de reutilização da água devem ser integradas no planeamento e gestão da água e a revisadas quanto as melhores tecnologias disponíveis (*BREF – Best Available Technologies Reference*). A Comissão também propõe legislação específica estabelecendo requisitos mínimos para a água reutilizada para irrigação agrícola.

2.3.1 Economia Circular na Gestão de Recursos Hídricos

A introdução da água de reúso no modelo de consumo de água atual, possibilita a transformação da gestão dos recursos hídricos de um modelo linear para um modelo circular. A FIGURA 4 ilustra as etapas até o consumo da água com a

inserção do reúso, e deste modo, fechando o ciclo hídrico do processo de uso humano, *closing loop*.

FIGURA 4 - MODELO CIRCULAR NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



O sistema de reúso de água, pode ser tanto na escala micro (por exemplo reúso dentro da própria indústria), quanto escala macro (entre diferentes usuários). A água utilizada nos domicílios pode ser reusada para irrigação na agricultura ou na indústria, passando por tratamentos pertinentes a cada uso.

Essa abordagem sistêmica na gestão de recursos hídricos interrompe o modelo linear de descarte e reintroduz a água, com uma nova abordagem dentro do contexto do ciclo hidrológico, estabelecendo um desafio conceitual ainda em desenvolvimento, que potencialmente podem promover ganhos econômicos e ambientais que serão discutidos a seguir.

Uma qualidade consequente da transformação do modelo é a preservação, e a possibilidade do aumento do capital natural no sistema. Os benefícios econômicos podem afetar diretamente o usuário da água, ou indiretamente, desenvolvendo economicamente o setor de recursos hídricos.

a. Redução de custos diretos ao usuário

Os custos são variáveis de acordo com a fonte e a finalidade que a água terá. No QUADRO 1, foram relacionados custos passíveis de diminuição com a adoção do modelo de economia circular da água.

QUADRO 1- REDUÇÃO DE CUSTOS POSSÍVEIS EM CADA FASE DO SISTEMA

Fase	Custo Referente	Justificativa	Fonte
Captação	Outorga de Uso - Cobrança pelo Uso dos Recursos Hídricos	Prevista pela PNRH cuja a finalidade deste valor atualmente é para a recuperação das bacias hidrográficas brasileiras, estimular o investimento em despoluição, dar ao usuário uma sugestão do real valor da água e incentivar a utilização de tecnologias limpas.	(ANA, 2017)
Tratamento Água	Água potável usada para diferentes propósitos/usuários	A água para fim potável tem qualidade diferente de que para os outros usos da água. Assim, tratar a água consumo humano e usá-la com diferente propósito gera uma perda de recursos energéticos, de matéria-prima e de recursos ambientais.	(EPA, 2012)
Distribuição	Distância dos Corpos Hídricos dos Usuários	Exige maior a infraestrutura para o transporte; quanto maior a extensão do trajeto maiores são as perdas do volume de água devido a infiltrações e rede comprometida; Energia associada ao transporte.	(Araújo, 2017; Hespanhol, 2014)
Tratamento de Esgoto	Tratamento para atender o enquadramento dos corpos hídricos	Se a água for reutilizada para alguma finalidade que com níveis de qualidade diferente (exemplo: agricultura), diminui o custo associado ao tratamento.	(EPA, 2012)
Descarte	Outorga de Uso - Cobrança pelo uso da Água (Poluidor-pagador: diluição, transporte e assimilação de efluentes de sistema de esgoto)	Conceito de cobrança que surgiu na Conferência de Estocolmo em 1972, que visa atribuir tributação ao poluidor ambiental.	(Neto, 2011)

Atualmente está sendo implementada e difundida a cobrança pelo uso dos recursos hídricos em diversas regiões do país de forma dessincronizada devido ao caráter descentralizado da gestão de recursos hídricos que possibilita a adoção de

tarifas diferentes e específicas entre as bacias hidrográficas. São 5 estados que já aplicam a cobrança (Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Ceará), em 4 bacias de domínio da União. Segundo a ANA (2018), em 2017, o valor cobrado pelo uso de recursos hídricos no Brasil foi de R\$ 454,9 milhões.

Uma vez inserido o sistema de reúso de água nos sistemas de água, a cobrança referente a retirada de água deixa de existir, ou, a justificativa pela cobrança deve ser reconceituada à luz da nova associação. Outra possibilidade ainda, é a consolidação de um mercado de água conforme elencado pela Comissão Europeia (2019) a fim de desenvolver a economia circular. Segundo Hespanhol (2011), é fundamental a adoção de uma política tarifária para a sustentabilidade de sistemas de reúso.

A cobrança não se restringe apenas ao montante de água retirada, mas também ao volume de água lançada nos corpos hídricos para a diluição de efluentes. Apesar de ainda não difundido a tributação do poluidor-pagador da água no Brasil, a introdução do reúso diminui o aporte de nutrientes quando o efluente é reciclado e não lançado nos corpos hídricos. Os efluentes ao serem reciclados impactam positivamente com o aumento do tempo de vida da água no sistema, ocasionando a manutenção dos volumes de água, assim como a manutenção da qualidade dos corpos hídricos, que deixam de sofrer a interferência das cargas provenientes do lançamento do efluente.

As fases de tratamento da água, antes do consumo, e posteriormente para o descarte foram estruturadas para atender os múltiplos usos da água, normalmente tratada a nível muito nobre que é a água potável. Assim, ambas são passíveis de diminuir custos ao serem estruturadas de acordo com a finalidade que a água terá com a introdução dos sistemas de reúso.

Por fim, o atual sistema se desenvolveu com a transposição de volumes de água de bacias longínquas devido a saturação dos corpos hídricos, tal prática implica em custo inerentes a construção e manutenção de infraestrutura de transporte. Reusar a água possibilita o aumento da disponibilidade hídrica local, o que pode evitar o custo de infraestrutura, assim como o custo referente as perdas no trajeto.

b. Aumento do capital indireto

A sinergia tem sido ignorada nas diretrizes da gestão dos recursos hídricos, entretanto em uma abordagem sistêmica inclui, também, a avaliação de como os

aspectos econômicos afetam ao longo da cadeia produtiva. As variações econômicas que podem afetar indiretamente o consumidor final:

- Aumento da disponibilidade hídrica para usos mais exigentes (abastecimento público e indústrias específicas);
- Mudanças nos padrões de produção e consumo
- Criação de um novo mercado e oportunidade de negócios para as empresas fornecedoras de serviços e equipamentos, e em toda a cadeia produtiva, mercado da água (MAKROPOULOS, et al, 2017);
- Ampliação na geração de empregos diretos e indiretos;
- Melhoria da imagem do setor produtivo junto à sociedade, com reconhecimento de empresas socialmente responsáveis.

2.4 SÍNTESE DO CAPÍTULO

A necessidade da reformulação do modelo é evidente, com os últimos eventos de crise hídrica no país. O modelo linear atual se desenvolveu por muito tempo sem regulamentações, e as primeiras que surgiram focaram em atender a demanda da água para o consumo humano, o que foi possível avaliar com a revisão das diretrizes do setor. Isso causou um engessamento no sistema, em que, no intuito de atender as regulamentações existentes, haja uma oferta de água de nível muito nobre (água potável) para usos diferenciados, como a indústria e a agricultura.

A lei de recursos hídricos de 1997, embora insira um forte componente de descentralização e integração dos processos de gestão de recursos hídricos, ainda carece de uma abordagem mais aprofundada e aplicada incentivando a consideração dos aspectos aqui defendidos.

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos já está dando primeiros passos, definindo até 2020 o prazo para desenvolver ações para a promoção do uso sustentável e reúso da água. Nesse instante surge a oportunidade da regulamentação para usos diferenciados da água e de fontes alternativas, o que deve ser analisado com cautela para não promover outra rigidez no modelo, de modo que atender as regulamentações não implique novamente em uma perda econômica e ambiental para a sociedade.

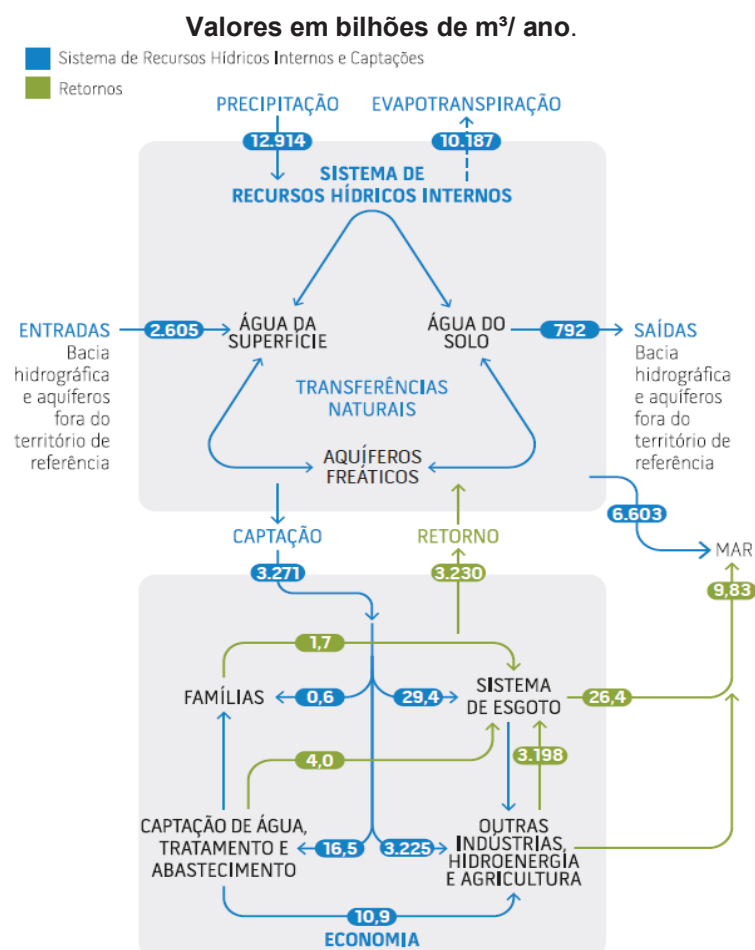
3 DISPONIBILIDADE HÍDRICA

Estimar a água disponível é fundamental para definir estratégias e planos de gestão a fim de garantir água para todos. Focando na finalidade social da água, a disponibilidade hídrica é usualmente conceituada como a parcela de água, em termos de vazão, que pode ser utilizada, sem comprometer o meio ambiente aquático (CRUZ e TUCCI, 2008).

Os processos de **transferências naturais**, como a precipitação e evapotranspiração, e de **ações antrópicas**, captação e retorno, interferem nos fluxos de água, o que torna a disponibilidade uma variável complexa de ser estimada. No contexto nacional, em uma visão de macroescala dos fluxos de água, o volume de água captado é próximo ao volume retornado aos corpos hídricos, o que sugere, em uma análise grosseira, a sustentabilidade do balanço hídrico e na manutenção da disponibilidade hídrica. A

FIGURA 5 apresenta uma síntese das contas da água no Brasil.

FIGURA 5: CONTAS DA ÁGUA NO BRASIL EM 2016.



FONTE: ANA (2018)

Entretanto, a disponibilidade em escala regional está sujeita à muitas incertezas hidrológicas, como oscilações climáticas que interferem nas taxas de precipitação e evaporação em cada região, e também há variações nas demandas.

O indicador de Falkenmark define a disponibilidade hídrica de acordo com o volume de água disponível por habitante por ano. Regiões com mais de 1700 m³/hab.ano de água são consideradas fora da zona de déficit hídrico, volumes inferiores são considerados situação de estresse hídrico. Condições mais críticas de déficit hídrico, quando o volume de água é inferior a 1000 m³/hab.ano, são definidas como escassez hídrica, e de absoluta escassez, quando o volume de água não passa de 500 m³ por habitante por ano (XU E WU, 2018).

Existem outros indicadores adotados para a avaliação da água disponível, e que classifica escassez de água e o estresse hídrico com base em outras variáveis, assim, não existindo uma definição única de disponibilidade hídrica (XU E WU, 2018). As variáveis escolhidas na determinação da água disponível, podem levar na desconsideração de fatores que podem limitar e causar uma errônea interpretação, como as elencadas por Ribeiro (2008 apud NOSCHANG, 2018):

Cada classificação proposta para quantificar a escassez ou o estresse hídrico oferece vantagens e dificuldades. O conceito de escassez hídrica aponta lugares onde existe dificuldade de acesso à água em quantidade e qualidade adequada. Já o estresse hídrico depende da informação correta do volume consumido. Isso exige um rigoroso sistema para quantificar o volume de água usado todos os anos, o que também não é simples nem barato. O fator de uso do fluxo da bacia é o indicador mais complexo porque exige um apurado conhecimento da dinâmica de cada bacia hidrográfica, além de não distinguir os usos da água. Se 70% da água de uma bacia for usada para gerar hidroeletricidade, por exemplo, seu reuso pode ser total se forem tomados os devidos cuidados após sua passagem pelas turbinas. (RIBEIRO, 2008 apud NOSCHANG, 2018)

Jia *et. al.* (2019) aponta a necessidade da avaliação da disponibilidade hídrica por meio de indicador que contemple outros aspectos além do volume de água, sugerindo: a integração da qualidade e da quantidade de água; a finalidade do uso da água e a consideração dos efluentes como água disponível.

A **finalidade da água** diferente do conceito do usuário, abrange a possibilidade que a água possa ter múltiplos usos mesmo para um único usuário, ou ainda entre usuários, desempenhando funções diferentes, assim, com níveis de qualidade e quantidade díspares.

Cruz e Tucci (2008) usaram curvas de permanência para avaliação quantitativa da disponibilidade hídrica e exemplificaram alguns efeitos dos diferentes usuários sobre o volume de água disponível:

O tradicional exemplo é o do uso consuntivo que deriva volume de água para o abastecimento de água doméstico e industrial ou irrigação, reduzindo a vazão no curso de água. Isto tem implicações de diminuir a disponibilidade para jusante e alterar as condições ambientais e de qualidade da água. No entanto, existem usos considerados não consuntivos como para a geração de energia hidrelétrica que através de um reservatório pode não alterar de forma significativa o volume do escoamento, mas poderá atuar fortemente sobre o hidrograma ou a variabilidade das vazões no tempo. Independente dos usos existentes em uma bacia, a curva de permanência é utilizada para estimativa de disponibilidade hídrica da vazão atualmente escoada pelo rio (vazão remanescente) (CRUZ e TUCCI, 2008).

As condições de **qualidade da água** também determinam a disponibilidade hídrica. A qualidade comprometida da água, por exemplo, pode inviabilizar o uso imediato da água para algumas finalidades, entretanto, pode ainda satisfazer outras finalidades com critérios de qualidade menos exigentes. Para a maioria dos usos industriais, constituintes minerais, sólidos suspensos (SS), DQO e DBO são fatores limitantes no uso. Enquanto para irrigação, metais pesados e a alcalinidade podem limitar o uso (JIA *et. al.*, 2019).

Então, considerando essas demandas específicas, um certo suprimento de água pode compor uma disponibilidade diferente de água de acordo com a finalidade, o que fomenta a inclusão de efluentes como fonte de recursos hídricos e que compõe o cálculo da disponibilidade hídrica. As águas residuais têm potencial de uso direto, ou após a passagem por tratamento que atenda aos critérios específicos da finalidade de uso.

Nesse capítulo serão revisados os conceitos usados e as variáveis que atuam na determinação da disponibilidade hídrica, tais como os volumes concedidos de uso por outorga, a caracterização do consumo da água, da retirada e do retorno da água, assim como, a qualidade que está disponível nos rios, a qualidade que deverá ser atendida para lançamento e as características específicas de consumo das diferentes finalidades.

3.1 ALOCAÇÃO DE ÁGUA POR OUTORGA DE USO

A alocação de água é uma ferramenta de gestão empregada para disciplinar os usos múltiplos em regiões de conflitos, assim como em cenários que contenham situações emergenciais ou ainda, que sofram com estiagens intensas (ANA, 2018).

Conforme instituída pela lei de 1997, o caráter descentralizado de gestão é também aplicado na definição das quantidades de água possíveis de serem alocadas, assim apresentam diferentes determinações quanto volumes entre as regiões hidrográficas. Na TABELA 1 estão algumas das vazões de referências adotadas em várias regiões do país.

TABELA 1 - DIFERENÇAS NAS VAZÕES MÍNIMA DE REFERÊNCIA, LIMITE DE USO DA BACIA E LIMITE DE USO INDIVIDUAL ENTRE DIFERENTES UNIDADES DA FEDERAÇÃO.

Região	Unidade da Federação	Vazão mínima de referência	Limite de uso na bacia	Limite de uso individual
Nordeste	Bahia	Q ₉₀	80%	20%
	Alagoas	Q ₉₀ (vazão regularizada)	90%	-
	Ceará	Q ₉₀ (vazão regularizada)	90%	-
	Rio Grande do Norte	Q ₉₀ (vazão regularizada)	90%	-
	Paraíba	Q ₉₀ (vazão regularizada)	90%	-
	Pernambuco	Q ₉₀ (vazão regularizada)	90%	-
	Sergipe	Q ₉₀	100%	30%
Sudeste	Minas Gerais	Q _{7,10}	30% (fio d'água)	-
	São Paulo	Q _{7,10}	50%	20%
	Rio de Janeiro	Q _{7,10}	80%	-
Centro-Oeste e Norte	Distrito Federal	Q ₉₀	80%	-
	Goiás	Q ₉₅	70%	-
	Tocantis	Q ₉₀	75%	-
Sul	Paraná	Q ₉₅	50%	-

FONTE: (FREITAS E LOPES, 2011)

Os volumes outorgáveis são definidos por vazões com alta permanência no tempo, como a Q₉₀ e Q₉₅ que indicam as vazões com 90% e 95% de permanência no tempo. Na região sudeste predomina vazões mínimas associadas a probabilidades de ocorrência, como a Q_{7,10} que é a vazão mínima média, ao longo de 7 dias, com tempo

de retorno de 10 anos. Essa definição assegura uma vazão mínima disponível mesmo nos períodos de estiagem, com pequena probabilidade de falha.

Além das vazões mínimas, há também em algumas regiões limitações quanto ao uso na bacia e o uso individual. O limite de uso na bacia é a porcentagem da vazão mínima de referência que pode ser alocada na bacia aos diferentes usos da água através de outorga. Enquanto que o limite de uso individual é a porcentagem da vazão mínima de referência que pode ser alocada a cada usuário de água por meio de outorga.

Entretanto, segundo Freitas e Lopes (2011), essa abordagem de alocação de água com base em cenários críticos de vazão, limita a alocação que poderia ocorrer em períodos hidrológicos favoráveis.

3.2 USUÁRIOS E O USO: DA CAPTAÇÃO AO RETORNO

O conhecimento das necessidades dos diversos usuários e das ofertas e demandas, é fundamental para a determinação da disponibilidade e gestão dos recursos hídricos. Entretanto, é elevado o nível de complexidade da análise dos sistemas de recursos hídricos, significativa variação nas demandas e grande número de variáveis representativas dos processos físicos, químicos e biológicos (FREITAS E LOPES, 2011).

Outorga versus Real Demanda

Os valores outorgados de concessão de uso da água não expressam integralmente a demanda hídrica real dos usuários. Isso se deve ao fato que os valores outorgados não são os volumes captados e consumidos, podendo ser valores superestimados, devido a outorgas concedidas a projetos que visem a garantia de retiradas de água, que incluam na estimativa o aumento da retirada a longo prazo pelo usuário, ou subestimadas, em que a captação seja apenas uma fração do real consumo de um usuário, que pode estar complementando por diversas fontes como: água da concessionária, pluvial, reciclagem, e águas cinzas.

Captação, Consumo e Retorno na Indústria

O volume de água captada, consumida e retornada é variável ainda para cada usuário e para cada finalidade. A ANA (2017) publicou um estudo com coeficientes técnicos de demanda hídrica industrial por tipologia baseado nas classes do CNAE (Classificação Nacional de Atividades Econômicas). A determinação desses












coeficientes foi realizada através de regressão linear dos dados outorgados com o número de empregados por tipologia industrial.

Apesar do avanço na caracterização das captações e efluentes industriais, esses coeficientes ainda são grosseiros, uma vez que os valores outorgados nem sempre representam as reais práticas de retiradas e retornos. Assim como, a relação dos coeficientes com o número de empregados na indústria implica na desconsideração dos graus de tecnologia dentro das mesmas tipologias e, essa generalização também não abrange possíveis práticas de reciclagem que estejam sendo realizadas pelas indústrias.

3.3 QUALIDADE DA ÁGUA DOS CORPOS HÍDRICOS

Além de critérios de quantidade, a qualidade dos corpos hídricos interfere na alocação da água. Afinal a classe do rio determinará os volumes possíveis para o lançamento e diluição de efluentes que deverão respeitar os parâmetros de qualidade da água estabelecidos para cada caso. São quatro classes de qualidade e uma classe especial, que são relacionadas aos usos da água, conforme resumida na FIGURA 6

FIGURA 6 - CLASSES de enquadramento das águas doces e respectivos usos do CONAMA 357/2005. FONTE: ANA (2018)

USOS DAS ÁGUAS DOCES		CLASSES DE ENQUADRAMENTO				
		ESPECIAL	1	2	3	4
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas		Classe mandatória em Unidades de Conservação de Proteção Integral				
Proteção das comunidades aquáticas			Classe mandatória em Terras Indígenas			
Recreação de contato primário						
Aquicultura						
Abastecimento para consumo humano		Após desinfecção	Após tratamento simplificado	Após tratamento convencional	Após tratamento convencional ou avançado	
Recreação de contato secundário						
Pesca						
Irrigação			Hortalças consumidas cruas e frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película	Hortalças, frutíferas, parques, jardins, campos de esporte e lazer,	Culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras	
Dessedentação de animais						
Navegação						
Harmonia paisagística						

Observação: As águas de melhor qualidade podem ser aproveitadas em uso menos exigente, desde que este não prejudique a qualidade da água.

A resolução nº 357 do CONAMA instituiu a definição das classes de enquadramentos dos corpos hídricos, considerando as modalidades diferentes de água: águas doces, salobras e salgadas, limites para os parâmetros de qualidade. Na TABELA 2 há uma síntese de alguns parâmetros de qualidade, e a respectiva classe para modalidade de águas doces.

TABELA 2 - LIMITES DE PARÂMETROS DE QUALIDADE PARA CADA CLASSE DA RESOLUÇÃO DO CONAMA

	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Limite de DBO _{5,20} [mg/L]	3	5	10
Mínimo OD [mg/L]	> 6	> 5	>4
Coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% - (Variando com o uso)	200	1000	2500

FONTE: ADAPTADA DA RESOLUÇÃO Nº 357 DO CONAMA (CONAMA, 2005)

As concentrações diferentes das vazões são abordadas por lei em faixas para enquadramento, não contemplando a possibilidade da diluição variável decorrente da vazão.

3.4 ESTRATÉGIAS DE GESTÃO PARA PRESERVAÇÃO E CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

O uso racional da água deve ser uma das primeiras alternativas de um programa de gerenciamento de recursos hídricos, segundo Mierzwa e Hespanhol (2005), que definem a racionalização como um melhor aproveitamento dos recursos hídricos disponíveis por meio de práticas conservacionistas.

A ANA e a Fiesp (2005) elaboraram manual de Conservação de Água em Edificações que subsidiam implantação de práticas de uso racional da água *in loco*, e definem programas de conservação da água (PCA) como ações com as seguintes consequências:

- redução da quantidade de água extraída,
- redução do consumo de água,
- redução do desperdício de água,
- aumento a eficiência do uso de água,
- aumento a reciclagem e o reúso de água.

As consequências da implementação de um PCA, segundo ANA e a Fiesp (2005), ainda:

Um PCA implantado de forma sistêmica, implica em otimizar o consumo de água com a consequente redução do volume dos efluentes gerados, a partir da otimização do uso (gestão da demanda) e da utilização de água com diferentes níveis de qualidade para atendimento das necessidades existentes (gestão da oferta), resguardando-se a saúde pública e os demais usos envolvidos, gerenciados por um sistema de gestão da água adequado. Cabe destacar que a integração das ações na demanda e oferta de água, com a implantação de um sistema de gestão consolidam um PCA. (ANA e Fiesp, 2005)

Um PCA, então, consiste na gestão da demanda e da oferta da água. A gestão da demanda é um processo integrado de identificação e medição contínua de demandas específicas para cada segmento (Hespanhol, 2006). Com essas informações organizadas é possível um efetivo controle da demanda individualizada e a orientação dos pontos que se pode eliminar desperdícios e modernizar processos. A FIGURA 7 sintetiza a identificação das práticas de conservação de água, proposta por Mierzwa e Hespanhol (2007), sob a investigação da demanda e da oferta.

FIGURA 7: PROGRAMA DE GESTÃO DE ÁGUA.



FONTE: CEBDS (2016) APUD. MIERZWA "ÁGUA NA INDÚSTRIA, E USO RACIONAL E REUSO." (2007).

A análise da oferta de água possibilita identificar potenciais fontes de água a fim de selecionar a melhor alternativa de fonte de água. Segundo o Manual de Conservação e Reúso de Água do Fiesp (2005) as possibilidades de fonte de água são:

- abastecimento através de concessionária (água potável e água de reúso),
- captação direta e tratamento quando necessário,
- uso de águas subterrâneas,

- água de chuva reservada,
- reúso de efluentes com aplicações de tecnologias de tratamento necessárias.

São várias as possíveis fontes de água alternativas. A adoção de sistemas de reúso é elencada como uma fonte alternativa de água, mas que segundo Mierzwa e Hespanhol (2005), apesar de estar sendo bastante abordada, deve ser avaliada com cautela:

(...) a prática de reúso não deve ser considerada como vem sendo difundida, a principal meta em um modelo de gerenciamento de águas e efluentes (...). Isto também se justifica em razão dos investimentos necessários para adequar as características dos efluentes aos requisitos de qualidade, assim como da vazão a ser tratada. Além disso, a prática em questão não é tão imediata como se imagina, já que a água de reúso deve apresentar características físicas, químicas e biológicas adequadas a cada uso. Deve-se considerar também que a concentração de determinados contaminantes aumenta à medida que se aplica o reúso. Se esses pontos não forem observados e a prática de reúso for adotada mesmo assim, todas as atividades nas quais a água de reúso é aplicada são comprometidas. (Mierzwa e Hespanhol, 2005)

3.4.1 Impactos da conservação e preservação da água na gestão dos recursos hídricos para os múltiplos usos

A implementação de práticas de conservação de água impacta os diferentes *stakeholders*. O saneamento e a sociedade são beneficiados com a possibilidade de expansão da vida útil dos sistemas de abastecimento de água potável, com a redução do consumo de água potável proveniente das concessionárias por demais usuários, assim, o aumento da disponibilidade de água para fins mais nobres.

No cenário industrial a meta de efluente zero não é novidade, uma vez que tanto as pressões e conflitos pelos recursos hídricos tem fortalecido a necessidade de implementações de processos mais eficientes de água, assim como, há o reconhecimento de empresas sustentáveis, e até mesmo na economia associada a redução do volume de água usada e tratada nos processos.

Já sob a perspectiva de bacia hidrográfica, são várias vantagens a adoção de programas de conservação de água (PCA) pelos usuários. Malinowski (2006) avaliou estratégias de sistemas de conservação de recursos hídricos sob critérios diversificados, que quanto a bacia hidrográfica, foram elencados os critérios de: economia do manancial, de benefício ambiental e de impacto ambiental. A Economia

do Manancial (EM), foi considerada todas as potenciais reduções do volume de água que deixa de ser retirada com a introdução das práticas de racionalização, de reciclagem e de reuso de água. O Benefício Ambiental (BA), as cargas dos efluentes tratados que deixariam de entrar com a introdução dos sistemas de reuso. Impacto Ambiental (IA), consideradas as interferências ao meio ambiente tanto positivas quanto negativas, com a disposição da água no meio ambiente, como exemplo: contaminação do solo, dos corpos hídricos, da fauna e flora.

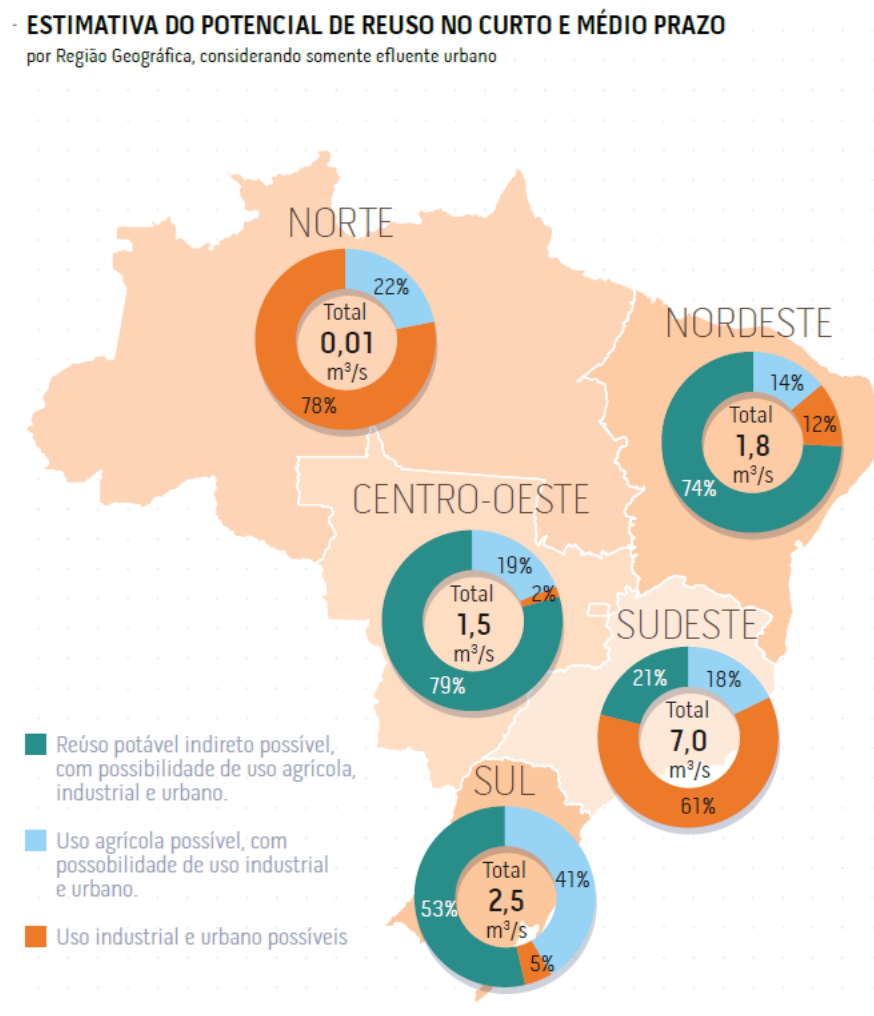
3.5 AUMENTO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA COM SISTEMA DE REÚSO

A introdução de sistemas de água de reúso impactam positivamente a disponibilidade hídrica das bacias, uma vez que atuam diretamente reduzindo a necessidade de retirada de água e diminuindo o retorno, assim, aumentando o tempo de vida da água no sistema. Isso permite que um volume maior de água fique disponível para demais usos na bacia. O efluente sanitário tratado deixa de ser um descarte, e passa a ser um recurso com potencial de uso para finalidades específicas.

Outro viés positivo, é o benefício ambiental, já relatado anteriormente, em que a água proveniente da estação de tratamento de esgoto deixa de ser lançada nos rios, o que diminui principalmente a entrada de nutrientes nos corpos receptores, aumentando, assim, a disponibilidade hídrica em termos de qualidade para outros usos.

Em levantamento realizado pela ANA (2018), em 2017 o reúso não potável no Brasil foi estimado em 2 m³/s, e foi estipulada a meta de aumentar esse valor para 13 m³/s até 2030. Na FIGURA 8, está a estimativa realizada pela ANA do potencial de reúso em várias regiões brasileiras sob as configurações de reúso potável indireto, e reúsos direto para finalidades industriais e agrícolas.

FIGURA 8: ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE REUSO NO CURTO E MÉDIO PRAZO.



FONTE: ANA (2018).

A ANA está em fase de desenvolvimento de diretrizes e subsídios técnicos para fomentar a inserção de sistemas de reúso a fim de da conservação dos recursos hídricos. O projeto consiste basicamente em um manual prático com a definição de padrões de qualidade para o reúso, o levantamento das potencialidades de reúso no Brasil, o levantamento, e a análise dos possíveis modelos de financiamento para o reúso e a proposta de plano de ações para instituir uma política de reúso de efluente sanitário tratado no Brasil (ANA, 2018).

Já há várias pesquisas brasileiras relatando a factibilidade quanto a introdução de sistemas de reúso como uma fonte alternativa de água. As pesquisas são principalmente com ênfase no contexto de desenvolvimento políticas públicas, de saneamento e guias para implementação por usuários específicos. O QUADRO 2 apresenta uma síntese de algumas pesquisas sobre a introdução de sistemas de reúso no cenário brasileiro.

QUADRO 2: SÍNTESE DE PESQUISAS DE INTRODUÇÃO DE SISTEMAS DE REÚSO NO BRASIL

Título	Autor	Resumo
Potencial de Reuso de Água no Brasil Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos	Hespanhol (2002)	Discussão crítica das ações para implementação de práticas de reúso no Brasil
Reuso de Água	Mancuso e Santos (2003)	Revisão de técnicas para implementação de sistemas de reúso.
Conservação e Reúso da Água - Manual para orientações do setor industrial	FIESP (2004)	Objetiva disponibilizar a melhor e mais adequada orientação aos usuários industriais na implantação de programas de conservação e reúso de água.
Água na indústria: uso racional e reúso.	Mierzwa e Hespanhol (2005)	Guia de como implementar sistemas de reúso dentro de indústrias
Aplicação de metodologia para a estruturação de diretrizes para o planejamento do reúso de água no meio urbano.	Malinowski (2006)	Aplicação da metodologia do Programa de Conservação de Água no meio urbano, com auxílio do sistema de apoio à decisão, o método AHP para estudo de cenários de sistemas de reúso. Estudo de caso na região metropolitana de Curitiba nas ETES Santa Quitéria e Belém
Manual de conservação e reúso de Continuação Quadro 2	ANA e Fiesp (2009)	Técnicas para implementação de sistemas de reúso na agroindústria sucroenergética
Estudo do potencial reúso industrial de água não potável a partir de efluentes domésticos tratados.	Osório (2014)	Avaliação quanto a viabilidade de sistema de reúso na região metropolitana de Curitiba preparação de inventário de indústrias potenciais sobre os aspectos de volume de água, qualidade e tratamento necessários.
Reúso de água e construção de cenários futuros: perspectivas e desafios para regiões semiáridas	Da Silva et al. (2018)	Desenvolvimento e implementação de MCVUAR – Metodologia de Cenários para Viabilidade de Uso de Água Residuária em regiões semiáridas

Já existem manuais elaborados pela ANA e a Fiesp a fim de promover a implementação dos sistemas de reúso pelos usuários de modo geral, e específico

para indústrias, como o Manual de Conservação e Reúso de Água na Agroindústria Sucroenergética, um dos usuários que mais demandam água no Brasil. Os estudos científicos como os de Malinowski (2005), Osório (2014) e Da Silva et al. (2018) têm concentrado em análises de oferta e demanda, considerando os volumes constantes, e focando também nos sistemas de tratamento dos efluentes para reusar a água. Já os estudos como o de Hespanhol (2002) aborda questões legais e culturais da implementação do reúso.

3.5.1 Qualidade para reusar a água

Até o presente estudo não há no Brasil regulamentações específicas no âmbito para padrões de qualidade em sistemas de reúso. No cenário internacional os EUA se destacam com a criação de diretrizes para o reúso de água (*Guidelines for water reuse*) elaborado pela Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA, 2012). Essa diretriz não especifica um valor único para padrões de qualidade, configura padrões de qualidade de acordo com as diversas finalidades da água e com critérios adotados associados ao risco de contaminação pelo contato dos usuários.

Indústria

Dentre a categoria de uso industrial ainda há muitas variantes. Há usuários com maior nível de exigência de qualidade, como no segmento alimentício e com usos menos exigentes como o setor elétrico. O reúso em termelétricas conforme já citado por Hespanhol (2008) deve ser considerado como prioritário para a introdução de sistemas de reúso devido ao alto potencial consequente da grande demanda e baixos padrões. A EPA separou as necessidades de água em termelétricas em duas categorias: água para resfriamento sem recirculação e com recirculação, conforme resumido TABELA 3:

TABELA 3 - QUALIDADE DA ÁGUA DE REFERÊNCIA DO EPA PARA USINA DE GERAÇÃO DE ENERGIA.

Categoria de Reúso	Tratamento	Qualidade	Observações
Resfriamento sem recirculação	Secundário	pH = 6.0 - 9.0 ≤ 30 mg/l DBO ≤ 30 mg/l TSS ≤ 200 coliformes fecais/100 ml 1 mg/l Cl ₂ residual	Vapor não deve alcançar áreas de acesso dos trabalhadores ou do público
		Variável depende da taxa de recirculação pH = 6.0 - 9.0 ≤ 10 mg/l DBO	Vapor não deve alcançar áreas de acesso dos trabalhadores ou do público
Resfriamento com recirculação	Secundário e desinfecção	≤ 30 mg/l TSS ≤ 200 coliformes fecais/100 ml 1 mg/l Cl ₂ residual	Tratamentos adicionais podem ser adicionados de modo preventivo à corrosões e crescimento biológico

FONTE: ADAPTADO DO *WATER REUSE GUIDELINES* (EPA, 2012)

Enquanto que para fins potáveis a água não deve apresentar resquícios de demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), na indústria é possível utilizar a água ainda com concentração de matéria orgânica. A EPA recomenda para torres de resfriamento uma DBO máxima de 30 mg/L, entretanto de um modo geral, para várias tipologias industriais há recomendações mais restritivas na faixa de 10 mg/L de DBO. Altas concentrações de matéria orgânica podem acarretar em crescimento biológico e formação de biofilme, eventualmente causando problemas de odores e necessitando de manutenção dos equipamentos na indústria.

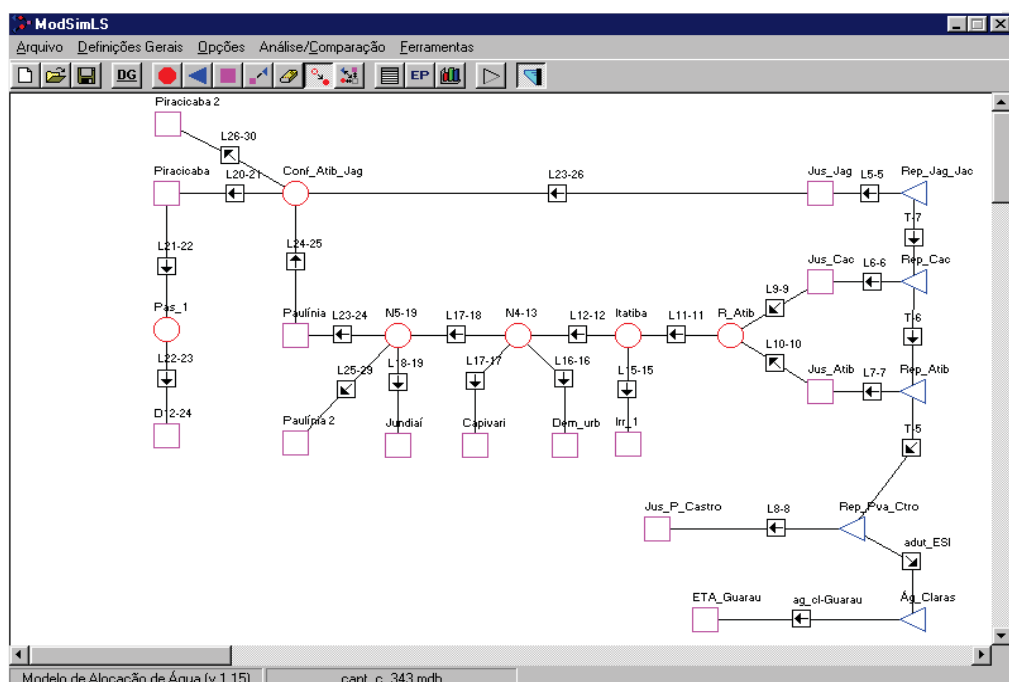
3.6 SISTEMAS DE SUPORTE A DECISÃO PARA ALOCAÇÃO DE ÁGUA E O ACQUANET

Devido ao significativo número de variáveis que interferem na determinação da água disponível, sistemas de suporte a decisão facilitam a interpretação dos dados. O uso de modelos matemáticos permite contemplar diferentes cenários, adicionando ou removendo elementos e configurações na simulação, possibilitando planejamento de longo prazo e análise de cenários futuros possíveis.

O AcquaNet é um modelo desenvolvido primeiramente na linguagem de programação Fortran, e chamado de MODSIM. Depois, o software foi reimplementado na linguagem MS-Visual Basic e recebeu o seu atual nome. O *software* está disponível gratuitamente pelo Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões (LabSiD) da Universidade de São Paulo (USP), possibilitando a interface com sistemas de informação georreferenciáveis (SIG). O AcquaNet tem quatro módulos de cálculo: alocação de água, qualidade da água, irrigação e curvas de aversão e risco. O *software* é um modelo integrado. O AcquaNet utiliza uma representação gráfica de fluxo de redes, usando nós e elementos de *link*, como ilustrado na FIGURA 9.

Os dados são calculados com o algoritmo denominado *Out-of-Kilter* que consiste em programação linear, desenvolvido para solucionar o problema de fluxo de

FIGURA 9 - INTERFACE DO SOFTWARE ACQUANET



custo mínimo em rede de fluxos, resolvendo, assim, problemas de balanço hídrico. O algoritmo soluciona a função-objetivo linear (1).

O fluxo Q_{ij} entre dois nós i e j está relacionado com o custo C_{ij} que representa uma prioridade operacional para alocação (fator de ponderação), a fim de encontrar o melhor cenário e o menor custo.

$$\text{Min} \sum C_{ij} Q_{ij} \quad (1)$$

A equação é restrita a princípios físicos, como a conservação de massa. A equação 2 garante que o fluxo entre os nós seja conservado.

$$\sum Q_{ij} = \sum Q_{jk} \quad (2)$$

A outra restrição do modelo é a capacidade de transporte, na equação 3, determinada pelo fluxo mínimo $I_{i,j}$ e o fluxo máximo $S_{i,j}$ nos *links*.

$$I_{i,j} \leq X_{i,j} \leq S_{i,j} \quad (3)$$

3.6.1 Módulo de qualidade da água

O módulo de qualidade da água permite a simulação de concentrações: de Oxigênio Dissolvido (OD), da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), fósforo total, coliformes fecais totais, nitrogênio orgânico, amônia, nitrato e nitrito.

A formulação do modelo consiste na solução da equação unidimensional de balanço de massa (4), aplicada a diferentes casos.

$$\underbrace{V}_{(I)} \underbrace{\frac{\partial c}{\partial t}}_{(II)} = \underbrace{\frac{\partial \left(A_c E \frac{\partial c}{\partial x} \right)}{\partial x}}_{(III)} \underbrace{\partial x}_{(IV)} - \underbrace{\frac{\partial (A_c U)}{\partial x}}_{(V)} \underbrace{\partial x}_{(VI)} + S \quad (4)$$

Onde: V é o volume; A_c é a seção transversal; E é o coeficiente de dispersão; c é a concentração de poluição; U é a velocidade média; x é a distância; t é o tempo; S são

as fontes externas. Os termos numerados da equação representam processos que influenciam o balanço de massa, são esses:

- (I) – Acumulação
- (II) – Difusão
- (III) – Advecção
- (IV) – Reações
- (V) – Fontes externas

O modelo considera o fluxo permanente, o coeficiente de dispersão e as restrições de velocidade. A equação (4) dividida pelo volume e as reações (IV) consideradas como de primeira ordem de equação: $\frac{\partial c}{\partial t} = -kc$, resultam na simplificação da equação de balanço de massa:

$$0 = E \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - U \frac{\partial c}{\partial x} + -kc \quad (5)$$

Em rios, o transporte de advecção é mais forte que o transporte de difusão (CHAPRA, 1997). Desta forma, o termo de difusão (II) é considerado normalmente nulo,

$$0 = -U \frac{\partial c}{\partial x} - kc \quad (6)$$

A equação diferencial resolvida resulta em:

$$c = c_o e^{-kc} \quad (7)$$

Esta equação de balanço de massa pode ser resolvida para diferentes poluentes. A solução para concentrações de DBO (L) e o OD (D) são conhecidas como modelo de Streeter-Phelps nas equações 8 e 9:

$$L = L_o e^{\frac{-(k_d + k_s)x}{U}} \quad (8)$$

Onde L_o é concentração inicial DBO; k_d é a taxa de desoxigenação; k_s é a taxa de sedimentação;

$$D = D_o e^{\frac{-k_a x}{U}} + \frac{k_d L_o}{k_a - k_r} (e^{\frac{-k_r x}{U}} - e^{\frac{-k_a x}{U}}) + \frac{-P + R + (\frac{SOD}{H})}{k_a} (1 - e^{\frac{-k_a x}{U}}) + \frac{k_d S_o}{k_r k_a} (1 - e^{\frac{-k_a x}{U}}) - \frac{k_d S_L}{k_r (k_a - k_r)} (e^{\frac{-k_r x}{U}} - e^{\frac{-k_a x}{U}}) + \frac{k_n L_{No}}{k_a - k_n} (e^{\frac{-k_n x}{U}} - e^{\frac{-k_a x}{U}}) \quad (9)$$

Onde D_o é a concentração inicial de OD; k_a taxa de decomposição da matéria orgânica; k_r coeficiente de reaeração, k_n é a taxa de nitrificação; OD é a demanda de oxigênio; P e R são a taxa de fotossíntese e respiração; L_{No} é o nitrogênio DBO.

3.6.2 Aplicações do AcquaNet

O AcquaNet é uma ferramenta de Sistema de Suporte a Decisões que tem sido usada para variados cenários. Composto por quatro elementos fundamentais: nós de passagem, *links*, demandas e reservatórios. Os resultados possíveis pelo módulo de alocação:

Resultados das demandas:

- Falhas no mês: a probabilidade de ocorrerem falhas ao longo dos meses do horizonte de simulação.
- Falhas consecutivas: a probabilidade de ocorrerem falhas durante 2 ou mais meses, ao longo dos meses do horizonte de simulação.
- Déficits: os déficits no atendimento das demandas em função da probabilidade de ocorrência fornecida pelo usuário.
- Vazões fornecidas: as vazões fornecidas às demandas em função da garantia fornecida pelo usuário.

Resultados dos *links*:

- Vazões ótimas: as vazões ótimas nos *links* em função da garantia fornecida pelo usuário.

Enquanto com módulo de qualidade é possível avaliar a evolução dos dados de qualidade ao longo dos trechos com os efeitos de diluição e decaimento. O módulo

de qualidade funciona com referência aos dados do módulo de alocação, permitindo ainda avaliar níveis de tratamento necessário para o atendimento de padrões de qualidade.

Alguns estudos já foram realizados com o AcquaNet como ferramenta. Entre eles, foram destacados no QUADRO 3 os que fundamentaram a base da abordagem escolhida nesta pesquisa.

QUADRO 3 - SÍNTESE DOS PRINCIPAIS ESTUDOS DE ALOCAÇÃO COM ACQUANET QUE FUNDAMENTARAM A ABORDAGEM METODOLÓGICA DO PRESENTE ESTUDO

Autores	Objetivos
Pante et al, (2004)	Disponibilidade Hídrica: <ul style="list-style-type: none"> • Cenário 1 – Bacia nas condições naturais. • Cenário 2 – Bacias com a infraestrutura atual. • Cenário 3 – Bacias com a infraestrutura atual + infraestrutura projetada.
Lopes e Freitas (2011)	<ul style="list-style-type: none"> • Propor metodologia de avaliação dos usos consuntivos (irrigação, abastecimento humano, dessedentação animal e consumo industrial) em uma bacia hidrográfica. • Avaliar o desempenho da metodologia proposta por meio de sua aplicação à bacia do rio São Francisco.
Aragão (2008)	Disponibilidade Hídrica: <ul style="list-style-type: none"> • Cenário 1: as demandas de abastecimentos atuais, e a transposição da vazão exógena através do leito natural do rio. • Cenário 2: demandas de abastecimento e irrigação dos perímetros, e a transposição da vazão através do leito natural do rio. • Cenário 3: demandas de abastecimentos atuais, e a transposição da vazão por meio de adutora. • Cenário 4: demandas de abastecimento e irrigação e a transposição da vazão por meio de adutora.
Maia (2010)	Disponibilidade Hídrica: <ul style="list-style-type: none"> • Cenário 1: apenas as demandas de abastecimento humano, o que inclui consumo urbano e rural. • Cenário 2: todas as demandas.
Porto e Teixeira (2008)	Simulação de qualidade de água para concentrações de DBO e OD do Rio Piracicaba

3.7 ESTUDOS DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA

Conforme descrito no início desse capítulo o conceito de disponibilidade hídrica não é único, e está sendo estudado sob várias abordagens. No QUADRO 4 estão elencados como foram abordados os conceitos de disponibilidade hídrica.

QUADRO 4: SÍNTESE DOS CÁLCULOS UTILIZADOS PARA DETERMINAÇÃO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA

Título	Autor	Cálculo da Disponibilidade Hídrica
Outorga de direito de uso de recursos hídricos: uma das possíveis abordagens.	Da Silva et al. (2004)	Quantidade e qualidade que está sendo solicitada se pode ser atendida pelo manancial.
A dimensão da qualidade de água: avaliação da relação entre indicadores sociais, de disponibilidade hídrica, de saneamento e de saúde pública.	Libânio e Chenicharo (2005)	Disponibilidade hídrica per capita, razão entre as vazões médias de longo período em cada unidade hidrográfica de referência – determinadas pelas séries hidrológicas dos registros de vazão em estações fluviométricas, disponíveis no Sistema de Informações Hidrológicas da ANA (Sistema HIDRO) – e as respectivas populações aferidas no Censo 2000 (IBGE, 2000).
Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência.	Cruz e Tucci (2008)	Vazão de permanência no tempo
Integração entre curvas de permanência de quantidade e qualidade da água como uma ferramenta para a gestão eficiente dos recursos hídricos.	Cunha et al. (2012)	Vazão de permanência no tempo

Os estudos de Libânio e Chernicharo (2005) e Cruz e Tucci (2008) analisam a água disponível apenas quantitativamente, considerando vazões médias e de alta frequência no tempo. Apesar de Cunha et al. (2012) abordar a qualidade da água como relevante na determinação de uso e estudar a variabilidade da qualidade através de curvas de permanência, define disponibilidade hídrica de acordo apenas com a quantidade disponível no tempo, e que concluiu com o estudo da qualidade da água variável:

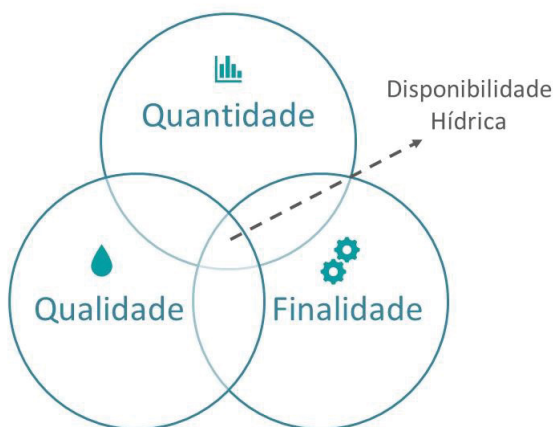
Cabe ao usuário das curvas avaliar o objetivo principal de sua pesquisa e, a partir dessa reflexão, escolher o modo de agrupamento dos dados e o número final de curvas de probabilidade geradas. Caso o interesse principal seja a avaliação da componente espacial do monitoramento, sem dúvida a elaboração de curvas por ponto de amostragem é fundamental. Por outro lado, se o foco do trabalho é a questão temporal, pode ser desejável separar os dados por coleta e, a partir daí, determinar em quais períodos a situação do sistema aquático foi mais crítica em termos probabilísticos, ou seja, em qual época do ano o ambiente teve maior risco de apresentar incompatibilidade com seu enquadramento legal. (CUNHA et al., 2012)

Já estudos como o de Da Silva et al. (2004) contemplam tanto o aspecto da qualidade e quantidade para a determinação da disponibilidade hídrica, mas apresentam limitação temporal ao considerar concentrações de poluentes constantes.

3.8 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Disponibilidade hídrica não apresenta conceito único, é uma variável complexa, e que deve ser avaliada sob vários aspectos, que não só da quantidade, mas também considerar a qualidade da água e a finalidade. Na FIGURA 10 ilustra a conceituação de disponibilidade hídrica adotada nessa pesquisa, que consiste na relação entre a quantidade, a qualidade e a finalidade que a água terá.

FIGURA 10: DISPONIBILIDADE HÍDRICA UMA RELAÇÃO ENTRE QUANTIDADE, QUALIDADE E FINALIDADE.



FONTE: AUTORA

Existe a evidência na literatura e já a aplicação de sistemas de reúso como uma fonte alternativa de água, com enfoque na implementação sob os aspectos legais e das técnicas de saneamento necessárias, e uma perspectiva quanto aumento do volume de água disponível com a inserção desses sistemas. Entretanto, carece em literatura análises que integrem o sistema de reúso com estudos de disponibilidade

hídrica e, como revisado no capítulo anterior, que estabeleça uma associação filosófica com o conceito de economia circular.

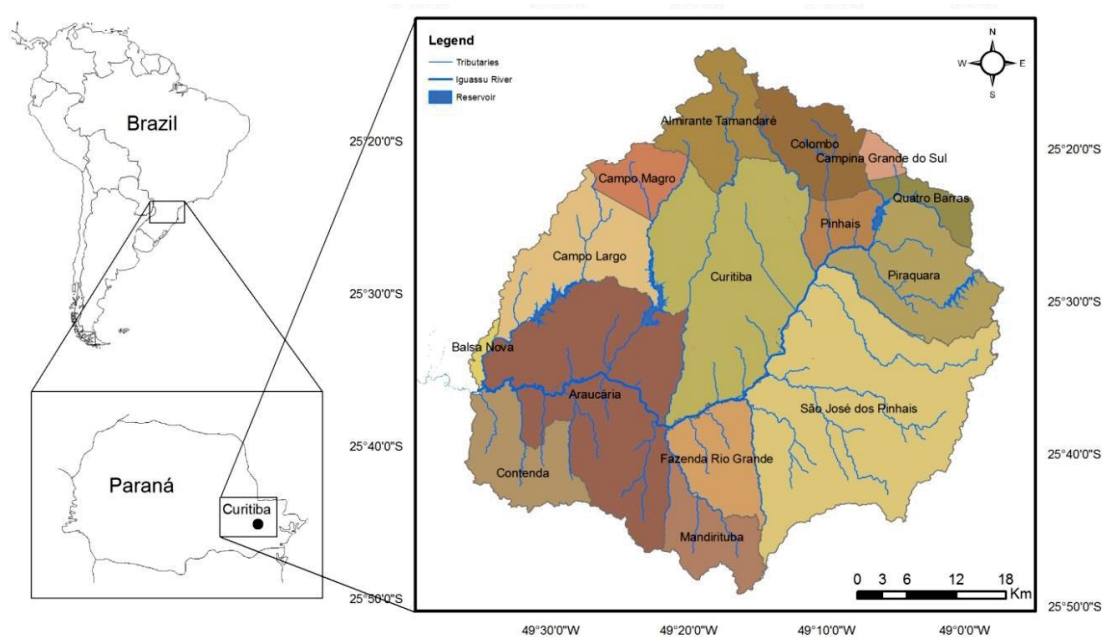
4 O DESAFIO DA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS EM BACIAS URBANAS – ESTUDO DE CASO DO ALTO IGUAÇU

A bacia do Alto Iguaçu, segundo Fernandes (2013), é o cenário recorrente em muitas cidades, em que o processo de ocupação irregular de várzeas em áreas de mananciais, e coleta e tratamento de efluentes insuficientes comprometem a qualidade da água.

O rio Iguaçu tem 1320 km de extensão atravessando o estado do Paraná no sul do Brasil. O rio escoar em sentido oposto ao mar, o que difere de vários rios brasileiros, devido a região de planaltos do estado.

A bacia hidrográfica recebe o nome do principal rio e foi dividida em três unidades hidrográficas: Alto Iguaçu, Médio Iguaçu e Baixo Iguaçu. O alto Iguaçu, foco deste estudo está ilustrado na FIGURA 11.

FIGURA 11 - LOCALIZAÇÃO DO ALTO-IGUAÇU



FONTE: KNAPIK (2014)

O rio é fonte de água para diferentes usos entre os municípios de Quatro Barras a Balsa Nova, e é de responsabilidade do Instituto da Águas do Paraná a concessão das outorgas e a disponibilização das informações. As captações vigentes realizadas no rio Iguaçu (na extensão compreendida pela bacia do Alto Iguaçu), são

majoritariamente de usos para indústria e para o abastecimento público, conforme resumido na TABELA 4.

TABELA 4 - CAPTAÇÕES OUTORGADAS VIGENTES EM MAIO DE 2018 PELO INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ.

Usuário	Tipo do uso	Principal Finalidade	Vazão [m³/h]
Sanepar	Saneamento	Abastecimento público	12600
Iguaçu celulose papel	Indústria	Processo industrial	50
CTG Minerios	Comércio Serviço	Lavagem de areia	30
Sanepar	Saneamento	Processo industrial	1620
Areial Rogalski	Comércio Serviço	Lavagem de areia	62,5
Petróleo Brasileiro	Indústria	Processo industrial	850

FONTE: TABELA CRIADA COM BASE NOS DADOS DISPONÍVEIS PELO INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ.

O maior volume outorgado para captação é referente ao abastecimento público, vazão de 12600 m³/h, seguidamente pela estação de tratamento de água para fins industriais de Araucária, 1620 m³/h.

Os principais lançamentos para diluição no rio Iguaçu são oriundos principalmente de três setores: das estações de tratamento de esgoto, dos aterros e das indústrias. Na TABELA 5 estão as concentrações e as vazões outorgadas pelo instituto, e foram calculadas a cargas de DBO diária lançadas em cada uso.

TABELA 5 - EFLUENTES OUTORGADOS VIGENTES NA DATA DE MAIO DE 2018 PELO INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ.

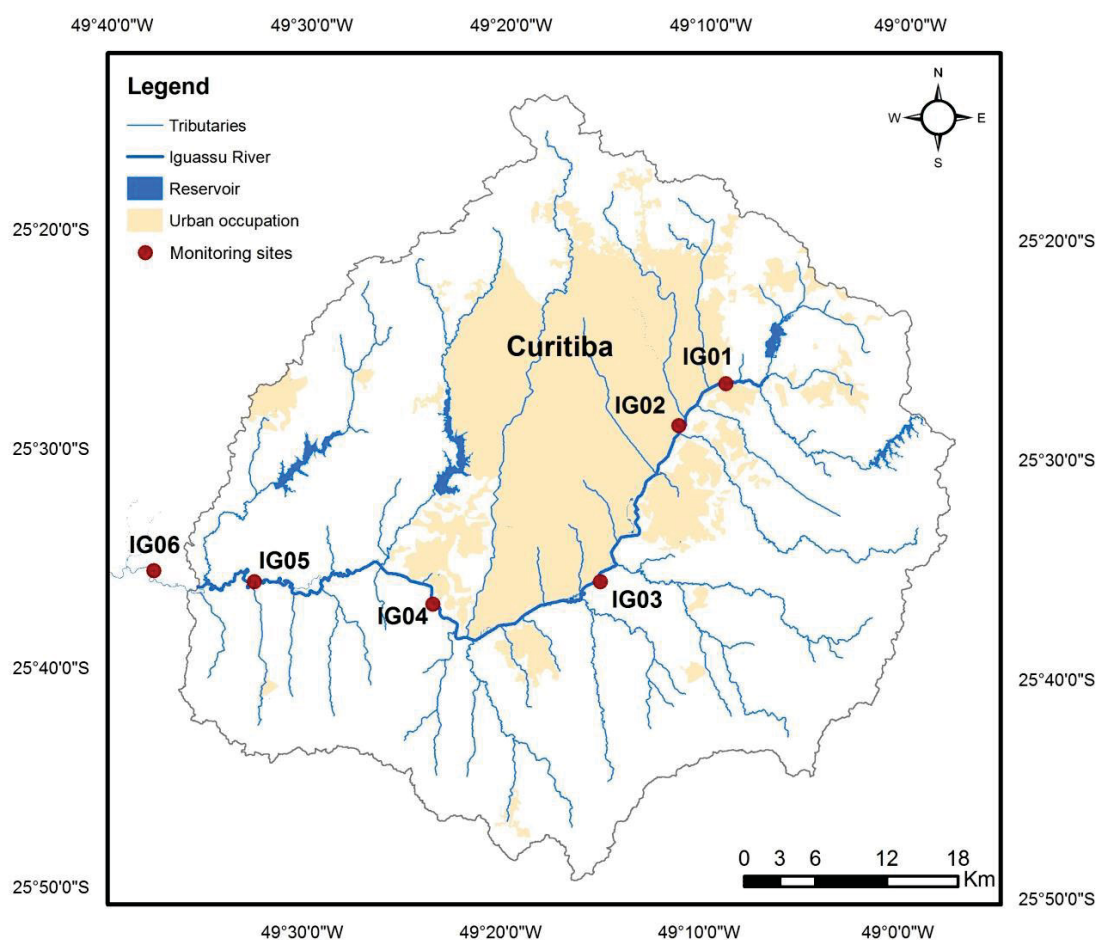
Localidade	DBO [mg/L]	DQO [mg/L]	SST [mg/L]	Vazão [m³/h]	Carga DBO [kg/dia]
Indústria	50	125	50	9	10,8
Indústria	50	150	50	18,75	22,5
ETE Iguaçu	90	225	90	252	544,3
ETE Padilha Sul	90	225	90	2160	4665,6
Aterro Caximba	100	150	100	7	16,8
ETE (Jardim Margarida)	90	225	90	642,2	1387,2
Aterro Santa Terezinha	200	500	200	20	96
ETE Cachoeira	90	225	100	576	1244,2
ETE Passaúna	90	225	90	543,96	1175

FONTE: TABELA CRIADA COM BASE NOS DADOS DISPONÍVEIS PELO INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ.

A parcela maior de carga de DBO lançada, correspondendo a 97%, provém das ETEs. Apesar do volume outorgado pelas indústrias serem próximas das concedidas para o efluente dos aterros, a carga de DBO dos aterros é quatro vezes superior que a lançada pelas indústrias.

Além das outorgas, o Instituto das Águas do Paraná disponibiliza informações fluviométricas e de monitoramento da qualidade da água. No total são 9 estações de monitoramento da nascente do rio Iguaçu até a foz. Na FIGURA 12 estão a localização dos pontos de monitoramento na extensão do Alto Iguaçu.

FIGURA 12 - PONTOS MONITORADOS PELO INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ.



FONTE: KNAPIK (2014).

O Rio Iguaçu nasce no encontro dos rios Atuba e Iraí próximo da cidade de Curitiba, onde está próximo ao ponto IG1. Os pontos IG2, IG3 e IG4 estão localizados em Curitiba e região metropolitana.

Na TABELA 6 foi feita uma síntese das informações sobre os pontos de monitoramento disponibilizadas pelo Instituto das Águas do Paraná, e a largura do fundo foi estudada por Ferreira (2015).

TABELA 6 – INFORMAÇÕES GERAIS DOS PONTOS DE MONITORAMENTO

Nome Referência do Ponto	Código Ottobacia	Altitude [m]	Distância da Nascente [km]	Área de Drenagem [km²]	Largura Fundo [m]
IG2	65009000	869,45	28,97	625,53	16
IG3	65017006	864,75	68,96	1283,65	19
IG4	65019980	860,41	119,78	2122,22	40
IG5	65025000	857,72	207,00	2577,76	41

A área de drenagem aumenta gradativamente com o distanciamento da nascente, com a diminuição da altitude, e concomitantemente ao aumento da seção transversal nos pontos monitorados.

A estação de monitoramento IG4 apresenta características peculiares, localizada no polo industrial de Araucária, após o rio Iguaçu passar por toda extensão urbanizada. Aproximadamente 50 metros a montante desse ponto de monitoramento está localizada a estação de tratamento de água industrial (ETA Ind), responsável pela demanda hídrica da indústria. A ETA Ind tem capacidade para tratar até 1,2 m³/s de água, sendo que a outorga atual é de 0,45 m³/s. A jusante do ponto de monitoramento, também aproximadamente 50 metros, está localizada a estação de tratamento de esgoto de Araucária (ETE Cachoeira), ambas, ETA Ind e a ETE Araucária, são geridas pela Companhia de Saneamento do Estado do Paraná (Sanepar). A ETE Cachoeira tem outorga de lançamento de 0,16 m³/s, e de concentração outorgada de 90 mg/L de DBO.

O ponto de captação da ETA Ind está a 100 metros a montante do ponto de lançamento do esgoto tratado conforme na FIGURA 13.

FIGURA 13 - ÁREA DE ESTUDO



FONTE: IMAGEM OBTIDA COM O GOOGLE EARTH

A ETA Ind não trata a água a nível de potabilidade para consumo humano, a água é tratada de acordo com qualidade estabelecida por meio de contrato entre a indústria e a Sanepar. A remoção dos sólidos grosseiros que podem ser carreados pelas águas de rios, há a passagem por grades mecanizadas conforme as imagens na FIGURA 14A e FIGURA 14B

FIGURA 14A: RIO IGUAÇU NO PONTO DE CAPTAÇÃO. FOTO: AUTORA



FIGURA 14B: ENTRADA DA ÁGUA CAPTADA PARA TRATAMENTO PELA ETA INDUSTRIAL. FOTO: AUTORA

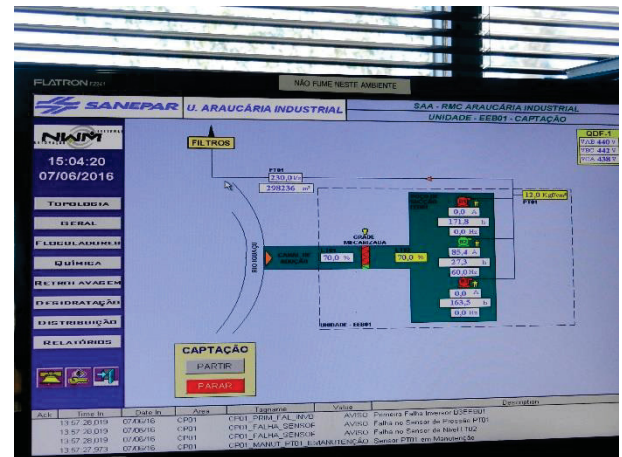


Para a remoção dos sólidos dissolvidos o processo de tratamento da ETA Ind passa ainda pelas etapas de: coagulação, floculação, filtração. A coagulação é feita com misturadores do tipo calha Parshall conforme a FIGURA 15A. Todo o processo é monitorado e gerido pela Sanepar, FIGURA 15.

FIGURA 15A: FOTO PONTO DE MISTURA RÁPIDA COM CALHA PHARSHALL. FOTO: AUTORA



FIGURA 15B: FOTO DA INTERFACE DO MONITORAMENTO DA ETA INDUSTRIAL. FOTO: AUTORA



Ainda é feita a desinfecção da água através de cloração com dióxido de cloro e o pH é ajustado no final do processo.

5 MÉTODO

Visando a avaliação da disponibilidade hídrica de forma integrada, o método consiste na análise da quantidade e qualidade da água disponível no rio Iguaçu, e considerando também a finalidade industrial. Assim como, a fim de avaliar a possibilidade de aumento da disponibilidade hídrica com a inserção de sistema de reuso foram criados cenários.

A variabilidade temporal da água, foi considerada usando dados de vazão em escala mensal de um período de 12 anos. Devido à escassez de dados de qualidade de água foram feitas duas abordagens metodológicas para representação da variabilidade da concentração. A primeira sob a hipótese de existência de uma **relação entre a vazão e a concentração** do poluente. A segunda através da **simulação das cargas de lançamento outorgadas**. O parâmetro de qualidade escolhido foi a DBO.

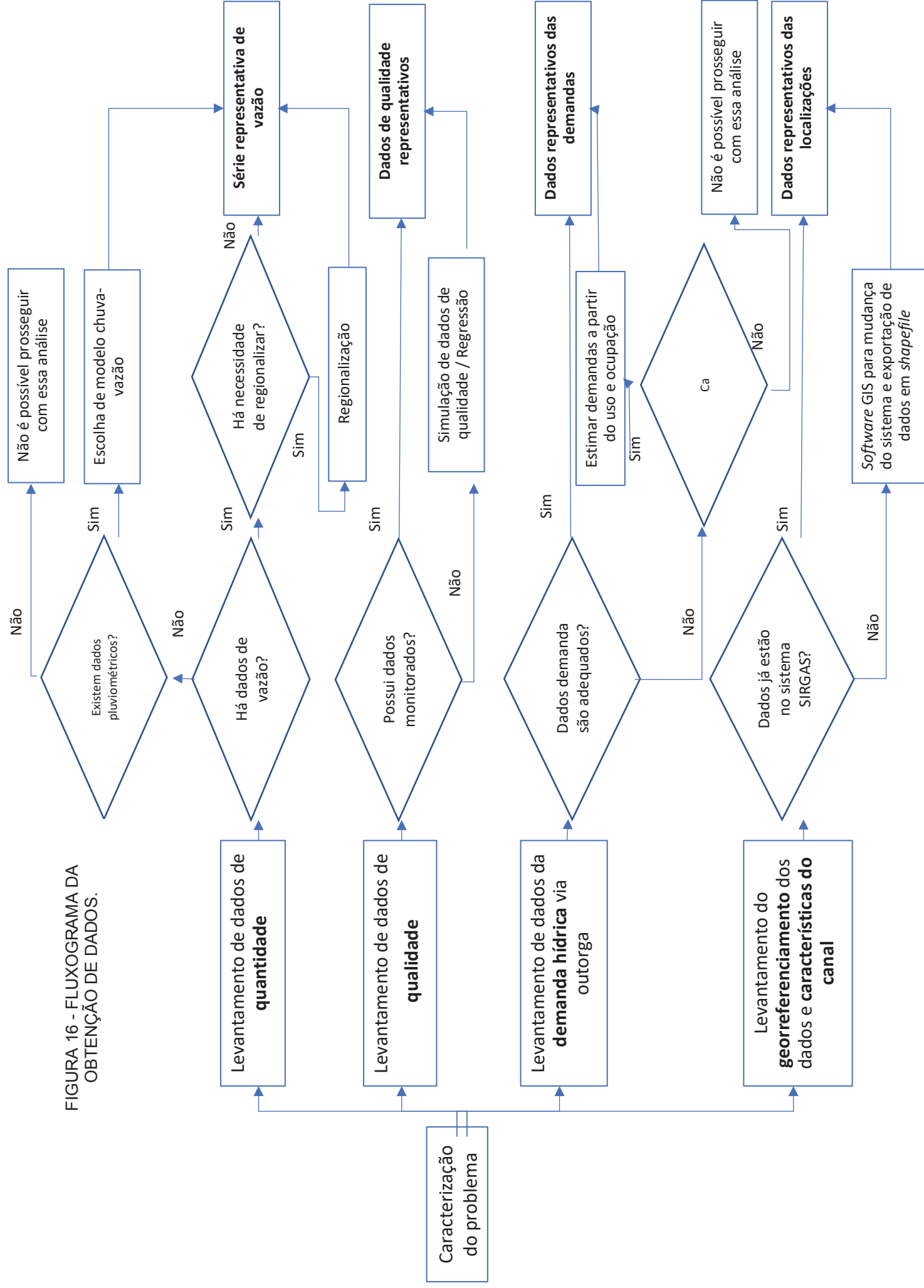
Por fim com os dados de quantidade e qualidade em escala mensal do rio Iguaçu, foi estudada a disponibilidade hídrica para usuário específico, industrial, e também a avaliação da possibilidade do **aumento da disponibilidade com a introdução do sistema de reúso**. Para avaliação da demanda do usuário industrial foi considerado um padrão de qualidade de 10 mg/L de concentração de DBO.

Esse capítulo descreve a metodologia detalhada utilizada nas etapas da pesquisa.

5.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

A disponibilidade de dados define a abordagem metodológica inicial, se será necessário tratamento preliminar de dados, análises em campo, levantamento documental e/ou geração de dados. A FIGURA 16 sintetiza em quatro vertentes: quantidade (vazões), qualidade (concentrações), demanda hídrica e georreferenciamento, como as abordagens para obtenção de dados representativos. Foram descritos nas seguintes seções a fonte e o método de obtenção dos dados utilizados nesta pesquisa.

FIGURA 16 - FLUXOGRAMA DA
OBTENÇÃO DE DADOS.



Quantidade de água do rio

O Instituto das Águas do Paraná é o órgão do estado, responsável pelo monitoramento e disponibilização dos dados da área estudada. Foram usados nesse estudo dados de vazões em escala mensal de inicialmente dos 8 pontos monitorados no rio Iguaçu, no estudo da construção da série mensal. Posteriormente, o estudo é direcionado a área de interesse, assim, com enfoque nas estações a montante do ponto estudado e da estação imediatamente a jusante, que consiste em 4 estações de monitoramento (pontos IG2, IG3, IG4 e IG5). Essas estações de monitoramento estão situadas rio Iguaçu especificamente contidas na Bacia do Alto-Iguaçu. Os dados de ponto de monitoramento IG4, apresenta série disponível de 12 anos (de 2000 até 2011), que será o período base dos estudos desse trabalho.

Qualidade da água do rio

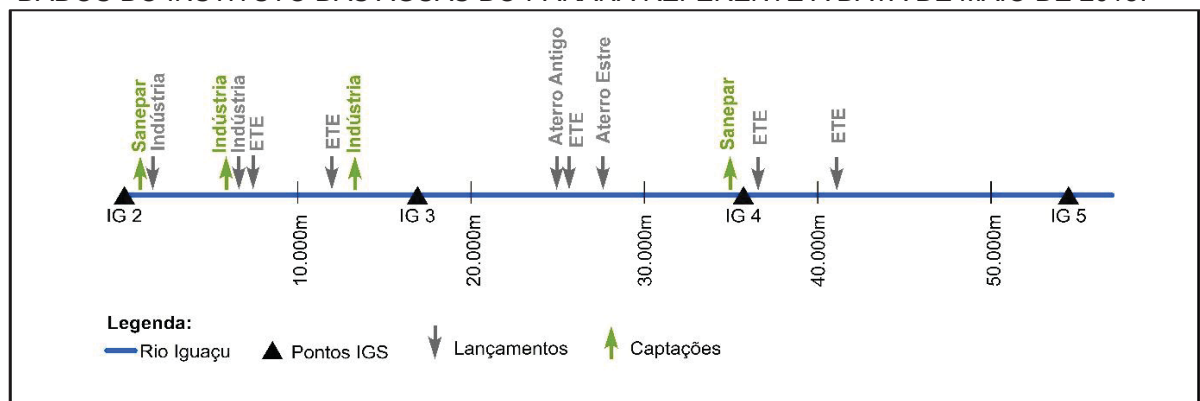
A qualidade do rio foi analisada com os dados de qualidade disponibilizados pelo Instituto das Águas Paraná, que incluem no seu conjunto, dados oriundos de projetos acadêmicos da UFPR.

O parâmetro de qualidade da água escolhido para estudo foi a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), por apresentar valores de referência tanto para qualidade do corpo hídrico, quanto para a finalidade de reúso industrial pelo EPA.

Demanda Hídrica

As demandas hídricas do Alto Iguaçu foram apresentadas no capítulo 4. A partir destes dados foi desenvolvido o diagrama topológico da FIGURA 17 que subsidiará a simulação dos dados de qualidade com o AcquaNet.

FIGURA 17 - DIAGRAMA TOPOLÓGICO DAS DEMANDAS DO RIO IGUAÇU, COM BASE NOS DADOS DO INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ REFERENTE A DATA DE MAIO DE 2018.



Georreferenciamento

Os dados georreferenciados foram obtidos em formato compatível aos *softwares* de georreferenciamento (*shapefile*) da bacia do Iguaçu pelo Instituto das Águas do Paraná. Através do *software* QGis, os *shapefiles* foram convertidos para o sistema de referência SIRGAS2000, sistema utilizado pelo AcquaNet. Os dados outorgados de captações e lançamentos disponíveis foram convertidos para o sistema de referência SIRGAS2000 e exportados em formato *shapefile*.

5.2 GERAÇÃO DE SÉRIE TEMPORAL DE DBO

O monitoramento dos parâmetros de qualidade da água exige mais recursos em relação ao monitoramento de dados fluviométricos. A quantidade de dados de qualidade ainda é escassa, o que dificulta a interpretação da variabilidade temporal da qualidade da água. Então, a fim de consolidar uma série temporal de concentração de DBO foi estabelecida a hipótese de uma correlação entre os dados de vazão com os dados de qualidade. Foram simulados vários ajustes de equação com auxílio do *software* MatLab através do Método dos Mínimos Quadrados (MMQ), por meio de funções da própria biblioteca do MatLab, que consideram ajustes de curvas passando por valores médios dos dados. As curvas ajustadas foram polinômios de primeiro até sexto grau e curvas exponenciais de um e de dois termos.

A partir das curvas geradas com os dados monitorados, foi escolhido o melhor ajuste de curva sob critérios de regressão e calculada concentrações de DBO mensal com base nos dados de vazão média mensal.

5.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS DOS DADOS

A disponibilidade hídrica comumente é calculada em função de curvas de permanência, o cálculo é simples, e pode ser realizada pelo ordenamento das amostras em ordem decrescente e a atribuição a cada valor a frequência de excedência.

A curva de permanência sintetiza a variabilidade das vazões, relacionando a vazão e a porcentagem do tempo em que ela é superada ou igualada sobre todo o período de análise. Representa o complemento da função distribuição cumulativa de probabilidade de vazões ou a probabilidade de excedência das vazões (TUCCI, 1993).

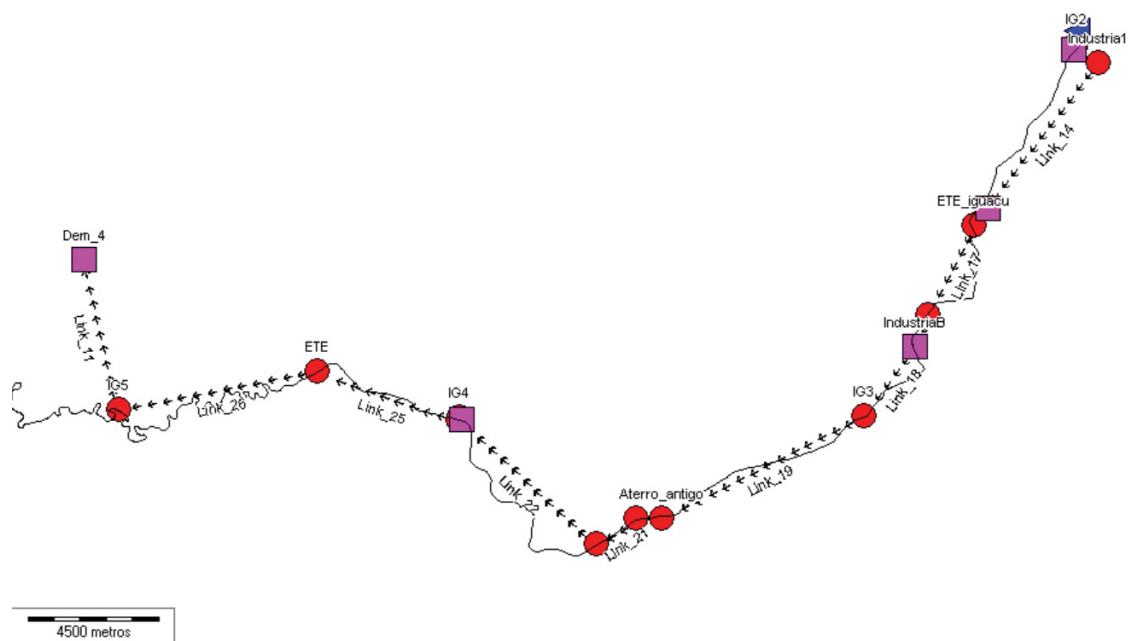
A análise da permanência também foi usada para as concentrações de DBO e para a eficiência de tratamento.

Outra análise realizada é a composição de gráficos do tipo *Boxplot* que permitem avaliar vários aspectos quanto a distribuição dos dados simultaneamente, assim como a mediana, valores extremos e a média.

5.4 SIMULAÇÃO ACQUANET

O primeiro passo consistiu no desenho da rede de fluxo, para isso os *shapefiles* georreferenciados foram importados para o *software* AcquaNet. As captações são representadas por elementos de demandas e os lançamentos por elementos de nós. Os pontos de monitoramento foram introduzidos como nós de passagem, que permitem a entrada de dados de vazão natural e de lançamento. As distâncias entre os pontos são calculadas automaticamente pelo *software* com os dados de georreferenciamento. A rede de fluxo desenhada no AcquaNet está na FIGURA 18.

FIGURA 18 - IMAGEM DA REDE CRIADA PARA SIMULAÇÃO NO SOFTWARE ACQUANET COM A INTRODUÇÃO DOS DADOS GEORREFERENCIADOS DOS PONTOS OUTORGADOS.



FONTE: AUTORA

O software trabalha com o incremento de vazão a cada nó, assim, foi calculada preliminarmente a reconstituição dos dados das estações monitoradas quanto as captações e os lançamentos existentes entre e os trechos.

$$Q_{reconstituída\ x} = Q_{obs\ x} + Q_{captação\ x-1} - Q_{lançamento\ x-1} \quad 10)$$

Em sequência foram calculados os incrementos de vazão ponto a ponto das estações monitoradas.

$$Q_{incremental} = (Q_{reconstituída\ x} - Q_{reconstituída\ x-1}) \quad 11)$$

Assim, os nós de passagem (círculos vermelhos) receberam volumes de água que incorporam positivamente o rio, vazões incrementais mensais nos pontos de monitoramento e lançamentos constantes nos trechos. As retiradas de água foram também inseridas nos elementos de demanda. Na equação 12 está uma síntese do cálculo realizado pelo AcquaNet para o cálculo da vazão em determinado ponto.

$$Q_{ponto} = \sum Q_{reconstituída} - \sum Q_{captações} + \sum Q_{lançamento} \quad 12)$$

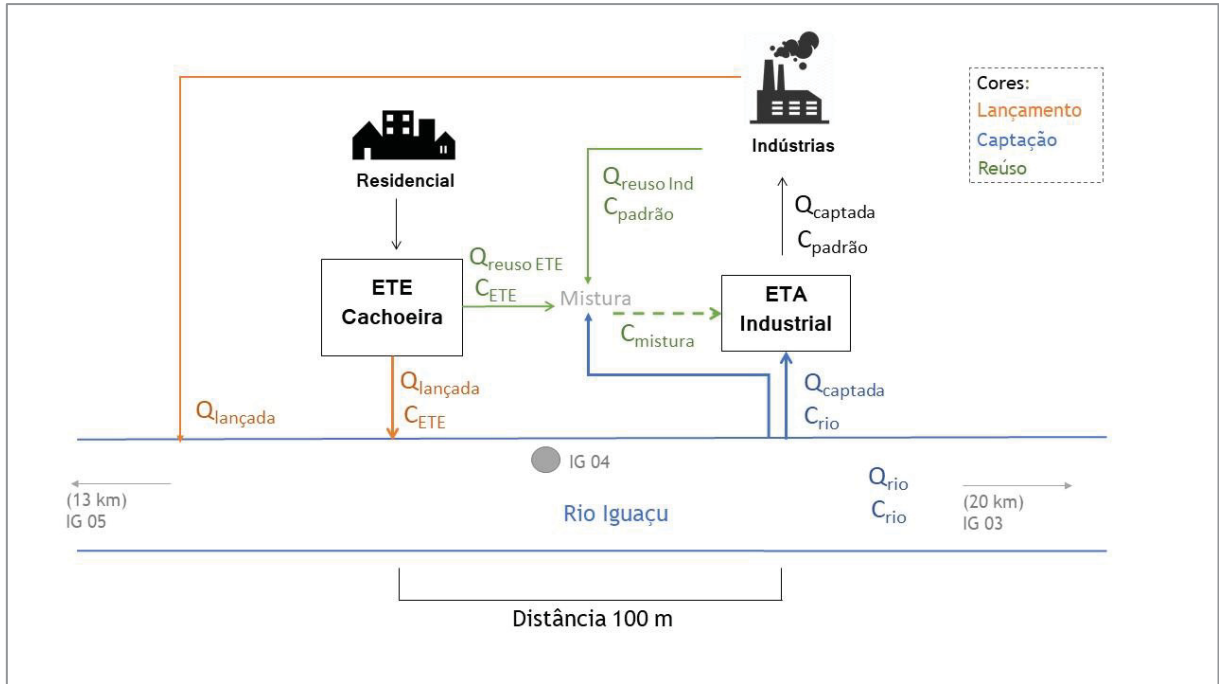
(eq. 12)*-síntese cálculo realizado pelo AcquaNet

Além das vazões lançadas, as concentrações de lançamentos também foram inseridas na simulação. Os cálculos realizados pelo AcquaNet para a determinação das concentrações de DBO ao longo dos trechos estão descritos na seção 3.6.1, as equações de Streeter-Phelps, usadas pelo AcquaNet, e os coeficientes das equações fora utilizados os valores padrões de referência.

5.5 REÚSO DE ÁGUA

O sistema de reúso de água analisado consiste no redirecionamento na vazão efluente da ETE Cachoeira, e também vazão efluente industrial, para ETA Industrial, essa mistura de efluentes (da ETE e da Indústria) com o volume de água captada são tratados para o uso industrial, conforme a estrutura da FIGURA 19.

FIGURA 19 - REÚSO DE ÁGUA DA ETE CACHOEIRA COM O REDIRECIONAMENTO DO FLUXO PARA ETA INDUSTRIAL.



FONTE: AUTORA

A vazão máxima possível de ser retirada do rio como referência utilizada na pesquisa é a estabelecida pelo comitê da bacia do Alto Iguaçu, que consiste em 50% da vazão de 95% de frequência (eq. 13).

$$Q_{out} = 0,5Q_{95\% (ponto)} \quad 13)$$

Nessa pesquisa será, ainda, adotada o coeficiente técnico de retorno comumente utilizado para efluentes domésticos de 80% do volume de água que chega para o consumo. Como as distâncias são curtas entre as captações e as indústrias deste estudo, estão sendo desconsideradas possíveis perdas no caminho, deste modo, o efluente de retorno é 80% do captado (equação 14).

$$Q_{Indústria} = 0,8 Q_{captada} \quad 14)$$

A água possível de ser reusada é referente o volume de água lançado pela indústria e pela ETE, conforme sintetizado pela equação 15.

$$Q_{reuso} = Q_{ETE} + Q_{Indústria} \quad 15)$$

A vazão da ETE é considerada constante e igual ao valor atual outorgado. A parcela referente a vazão lançada pela indústria é variável dependente da captação. Foi definida como carga a ser tratada pela ETA em função da vazão captada e da

concentração do rio, e como a qualidade de água que chega no rio para o usuário é variável, a carga a ser tratada também é variável e sintetizada pela equação 16.

$$Carga_{tratar} = C_{rio} Q_{captada} \quad (16)$$

A eficiência do tratamento (η) foi definida como a fração da carga captada pela carga final necessária para o uso industrial, considerada como concentração padrão, $C_{padrão}$, o valor de 10 mg/L de DBO. Como nessa pesquisa estão sendo desconsideradas as perdas, as simplificações das cargas das equações de eficiência:

$$\eta = \frac{C_{padrão} Q_{captada}}{C_{rio} Q_{captada}} \quad (17)$$

$$\eta = \frac{C_{padrão}}{C_{rio}} \quad (18)$$

Deste modo, conforme a equação 18, a eficiência de tratamento necessária é a relação fracionaria entre a qualidade atual do rio e a que se deseja obter para o uso. Além do tratamento da água do rio foi avaliado em cenários de introdução de reúso o tratamento demandado da mistura águas rio com os efluentes, industriais e domésticos da ETE.

$$Carga_{tratar} = C_{rio} Q_{captada} + C_{efluente} Q_{efluente} \quad (19)$$

Sendo a vazão do efluente 80% da vazão captada, a eficiência de tratamento pode ser calculada:

$$\eta_{eta} = \frac{(C_{rio} + C_{efluente}) 1,8 Q_{captada}}{C_{padrão} (1,8 Q_{captada})} \quad (20)$$

$$\eta_{eta} = \frac{(C_{rio} + C_{efluente})}{C_{padrão}} \quad (21)$$

Assim, também nos casos de reúso, a eficiência é uma relação fracionaria entre as concentrações, em que a concentração do rio é variável de acordo com as séries temporais obtidas, e as concentrações dos efluentes são constantes.

A introdução do sistema de aumenta a disponibilidade hídrica devido a diminuição do lançamento de cargas para diluição no rio, o que melhora da qualidade do rio a

jusante. A fim de estimar a carga que deixa de ser lançada no rio será calculada segundo a equação 22:

$$Carga_{\text{efluente_tratado}} = C_{\text{outorgada}} Q_{\text{outorgada}} \quad 22)$$

Cenários

Foram desenvolvidos cenários fundamentados em três estratégias, em que duas são de aumento na disponibilidade hídrica, e uma de manutenção da disponibilidade através de troca de parcela de volume captado por água de reúso.

Primeiramente, foi estruturado um **cenário base**, cenário 1, que consiste na caracterização da gestão da água realizada no ponto atualmente, sob os critérios de obtenção e do descarte da água. Para a compreensão do fluxo que a água está seguindo e dos seus potenciais quanto aumento de disponibilidade, foram categorizadas taxas de uso da água de acordo com as diferentes fontes possíveis para obtenção da água, que são: a captação no rio, o reúso da ETE Cachoeira e o reúso do efluente industrial.

A taxa de captação foi definida como a fração do volume captado em relação ao volume máximo possível de ser captável. O volume máximo captável é de 50% da $Q_{95\%}$, segundo as normativas de outorga.

A taxa de reciclo da ETE, é o percentual de água reusada do volume total possível de ser reusado, que foi considerado constante igual a vazão outorgada, 0,16 m³/s, e de concentração também constante outorgada de 90 mg/L de DBO.

A taxa de reciclo da água de efluente industrial é o percentual reusado do volume total possível de ser reusado, que é variável, uma vez que a água retornada pela indústria é proporcional à captada. Nessa análise, foi considerada a fração de 80% de retorno da água captada. Para a qualidade, a concentração de DBO do efluente industrial foi considerada constante igual a 10 mg/L, valor adotado sob a hipótese de conservação da qualidade da água no uso industrial, sendo, a mesma concentração tratada para o uso. O QUADRO 5 apresenta as equações utilizadas no estudo dos cenários.

QUADRO 5: SÍNTESE DAS EQUAÇÕES USADAS NA SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS DE REÚSO DE ÁGUA

Definição	Equação	Constantes e Variáveis
Taxa de Captação	$\frac{Q_{captada}}{Q_{máxima}}$	$Q_{captada} = \text{variável entre os cenários}$ $Q_{máxima} = 0,5 \cdot Q_{95\%}$
Taxa de Reciclo da ETE	$\frac{Q_{reuso\ ETE}}{Q_{efluente\ ETE}}$	$Q_{reuso\ ETE} = \text{variável entre os cenários}$ $Q_{efluente\ ETE} = \text{vazão outorga} = 0,16\ m^3/s$
Taxa de Reciclo da Indústria	$\frac{Q_{reuso\ Ind}}{Q_{efluente\ Ind}}$	$Q_{reuso\ Ind} = \text{variável entre os cenários}$ $Q_{efluente\ Ind} = 0,8 \cdot Q_{captada} = \text{variável}$
Vazão Lançada	$\sum Q_{efluentes}$ $-\sum Q_{reusadas}$	$Q_{efluentes} = Q_{efluente\ ETE} + Q_{efluente\ Ind}$ $Q_{reusadas} = Q_{reuso\ ETE} + Q_{reuso\ Ind}$
Vazão Disponível p/ Usuário	$Q_{disponível} = Q_{captada} + Q_{reuso\ ETE} + Q_{reuso\ Ind}$	
Aumento da disponibilidade	$\frac{Q_{disponível}}{Q_{cenário\ 1}}$	$Q_{cenário\ 1} = \text{vazão outorga} = 0,45\ m^3/s$
Concentração de Mistura	$\frac{C_{rio}Q_{captação} + C_{ETE}Q_{reuso\ ETE} + C_{Ind}Q_{reuso\ Ind}}{Q_{disponível}}$ $C_{rio} = \text{séries de DBO}$ $C_{ETE} = \text{concentração de outorga} = 90\ mg/L$ $C_{Ind} = \text{concentração padrão EPA} = 10\ mg/L$	
Estimativa da Concentração de Lançamento anual	$C = \sum_{i=0}^{100} C_i * i$ $\Delta i = \frac{1}{n}$	$n = \text{número de dados da série}$ $i = \text{frequência (\%) da concentração}$

A vazão disponível para o usuário foi definida como a soma do volume de água captada com o volume de água reusada da ETE Cachoeira, além do volume de água reusada do efluente industrial.

Foram adotadas três estratégias para a composição dos cenários:

- (1) **Aumento da disponibilidade hídrica com reúso e sem aumentar a captação da água do rio:** Os cenários C2, C3, C4 e C5, consistem na introdução do reúso da ETE e, também, da indústria, gradativamente em diferentes taxas (50% e 100% do volume da água reciclado) até o máximo reúso possível (100% reciclada dos dois efluentes), enquanto o volume de água captada é constante e igual ao atual outorgado (0,45 m³/s).
- (2) **Manutenção da disponibilidade hídrica com reúso e com a diminuição da captação da água do rio:** Os cenários C6 e C7, consistem na diminuição da captação de água efetuada atualmente e na introdução do reúso de modo que a disponibilidade hídrica continue a mesma praticada atualmente (0,45 m³/s).
- (3) **Aumento da disponibilidade hídrica com reúso e com o aumento da captação da água do rio:** Esses cenários C8, C9, C10 e C11 consistem no aumento da captação do rio gradativamente em taxas (25%, 50% e 100% do volume máximo captável possível, considerado o volume de outorga) e o reúso máximo possível da ETE e o reúso da indústria no seu valor máximo.

5.6 DISPONIBILIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO

Além da meta principal do CNRH que é até 2020 criar subsídios para fomentar o desenvolvimento de sistemas de reúso, a resolução também prevê:

(...) Ampliar o conhecimento a respeito dos usos das águas, das demandas atuais e futuras, além dos possíveis impactos na sua disponibilidade, em quantidade e qualidade. (...) Divulgar, em linguagem acessível, informações sobre oferta hídrica, usos da água e balanço hídrico. (...) Compartilhar informações, em linguagem clara e acessível, a respeito da situação da qualidade e quantidade das águas e da sua gestão. (BRASIL. CNRH, 2016).

Esse trabalho tem como motivação a disponibilização do conteúdo gerado de forma acessível, alinhada as técnicas contemporâneas de comunicação, para isso foi disponibilizado o conteúdo em formato *web*, no endereço eletrônico: elisastefan.com.

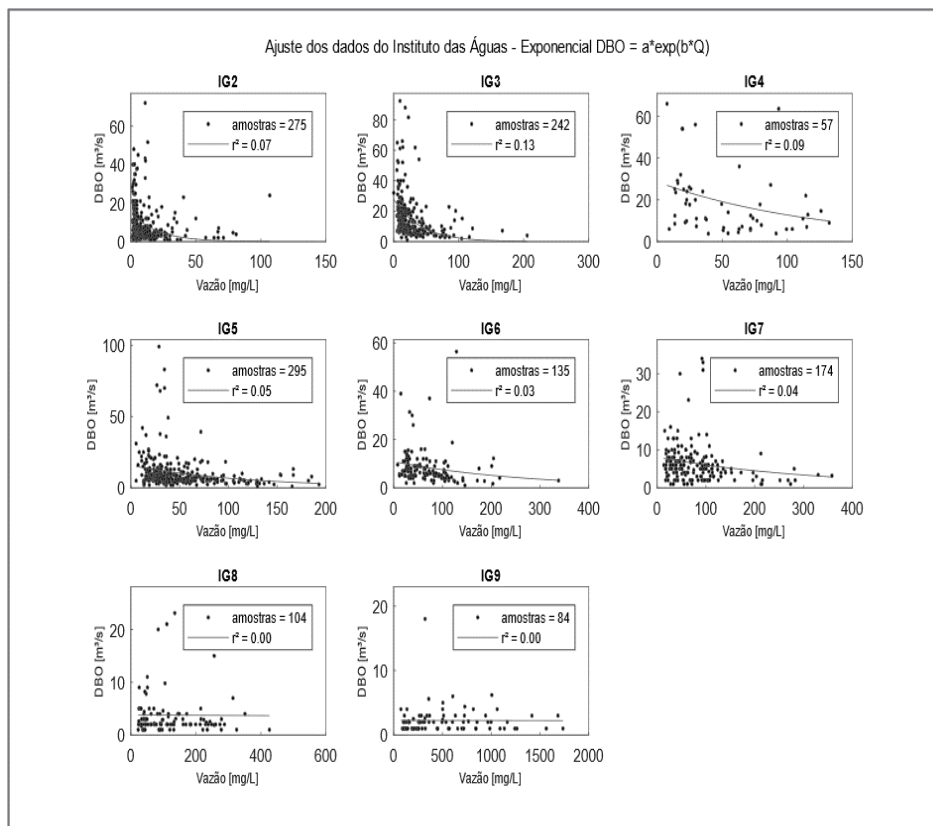
6 RESULTADOS

Essa seção inicia-se com a análise dos dados gerados através do método de regressão. Em sequência, são utilizados os dados gerados pelo método de regressão e as concentrações monitorados para análise quali-quantitativa da água no rio Iguaçu para região do Alto Iguaçu. A partir deste ponto, a avaliação é focada para a área de interesse (IG4) com a simulação também das cargas outorgadas com auxílio do *software* AcquaNet e comparada com os demais dados. Por fim, são feitas avaliações de cenários de aumento da captação da água e de introdução de sistema de reúso para área de interesse, investigando a eficiência de tratamento necessária para cada cenário e o aumento da disponibilidade quali-quantitativa da água no ponto.

6.1 SÉRIE TEMPORAL DE DBO PARA AS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO DO ALTO IGUAÇU

As regressões apresentaram de modo geral baixo coeficiente de determinação (r^2 variando de 0,00 a 0,16), os resultados melhoraram conforme o aumento da ordem do polinômio nas equações ajustadas. A curva exponencial de um termo apresentou os melhores resultados entre todos os estudados. Na Figura 20 estão as curvas ajustadas com a regressão entre a DBO e a vazão com a equação exponencial para todos os pontos de monitoramento no rio Iguaçu. Os resultados para os demais ajustes estão no APÊNDICE 3.

FIGURA 20: CURVAS EXPONENCIAIS AJUSTADAS PARA TODOS OS PONTOS DE MONITORAMENTO DO RIO IGUAÇU

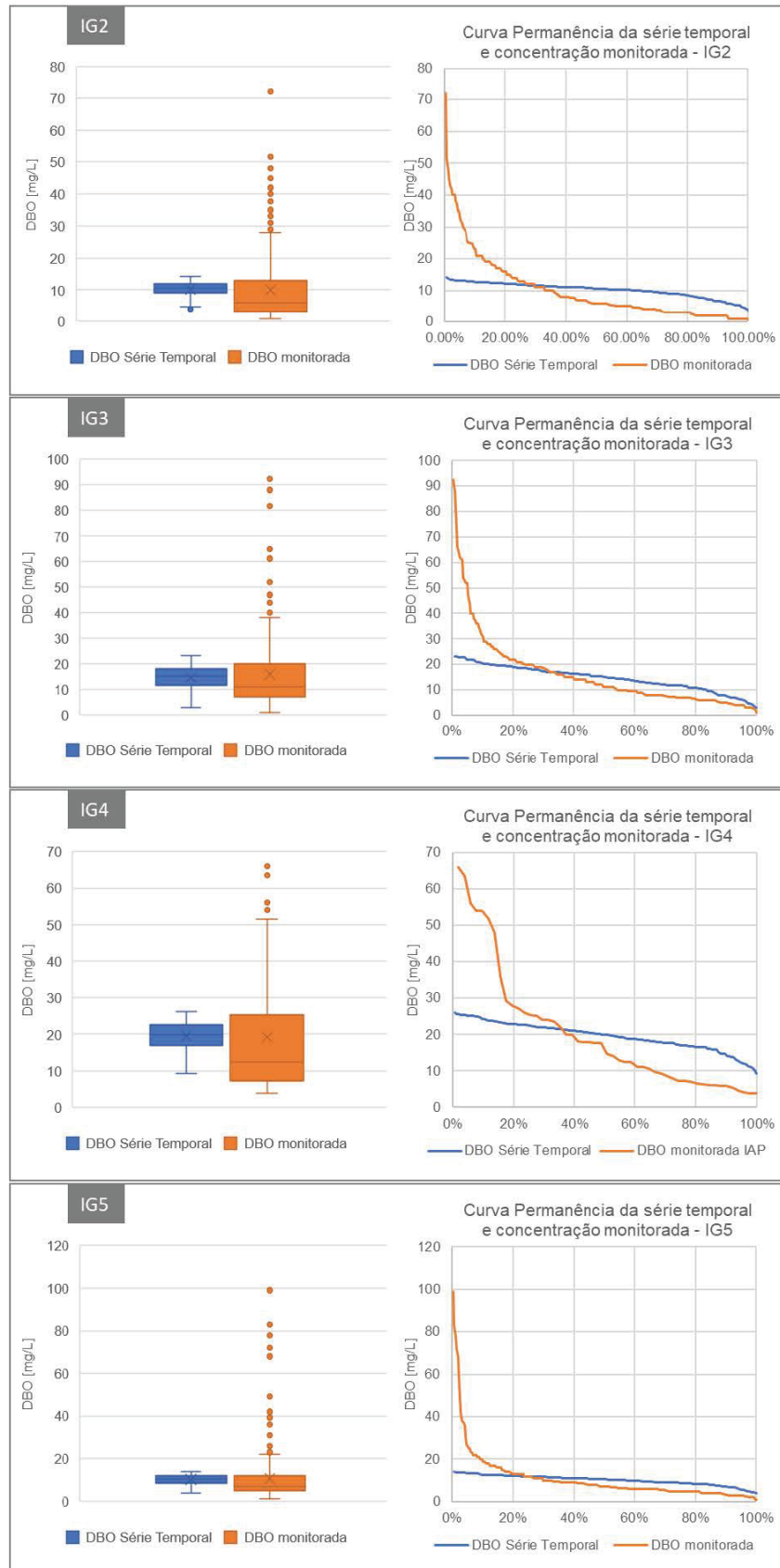


Observa-se para estações de vazões menores (IG2, IG3, IG4 e IG5) uma distribuição dos dados que tende a um decaimento exponencial, com altas concentrações para as baixas vazões e rápida diminuição das concentrações com o aumento da vazão. Já para as estações com vazões maiores (IG6, IG7, IG8 e IG9) esse comportamento não fica tão evidente, o que pode ser consequência da maior taxa de diluição e autodepuração propiciada pelas maiores vazões.

Análise dos dados gerados a partir regressão

A curva exponencial de um termo apresentou os melhores resultados de regressão, e sua função foi usada para a geração de série mensal de DBO para o período de 12 anos. A FIGURA 21 apresenta as análises estatísticas, *boxplots* e a frequência dos dados, realizadas com os dados monitorados e com as séries temporais mensais de concentração de DBO geradas através do método de regressão para os pontos compreendidos na bacia do Alto Iguaçu (pontos IG2, IG3, IG4 e IG5). Na FIGURA 21 os *boxplots* apresentam valores de média (com o marcador em forma de “x”) e de mediana (com marcador em linha no retângulo).

FIGURA 21 - GRÁFICOS DA SÉRIE TEMPORAL DE DBO E DA DBO MONITORADA



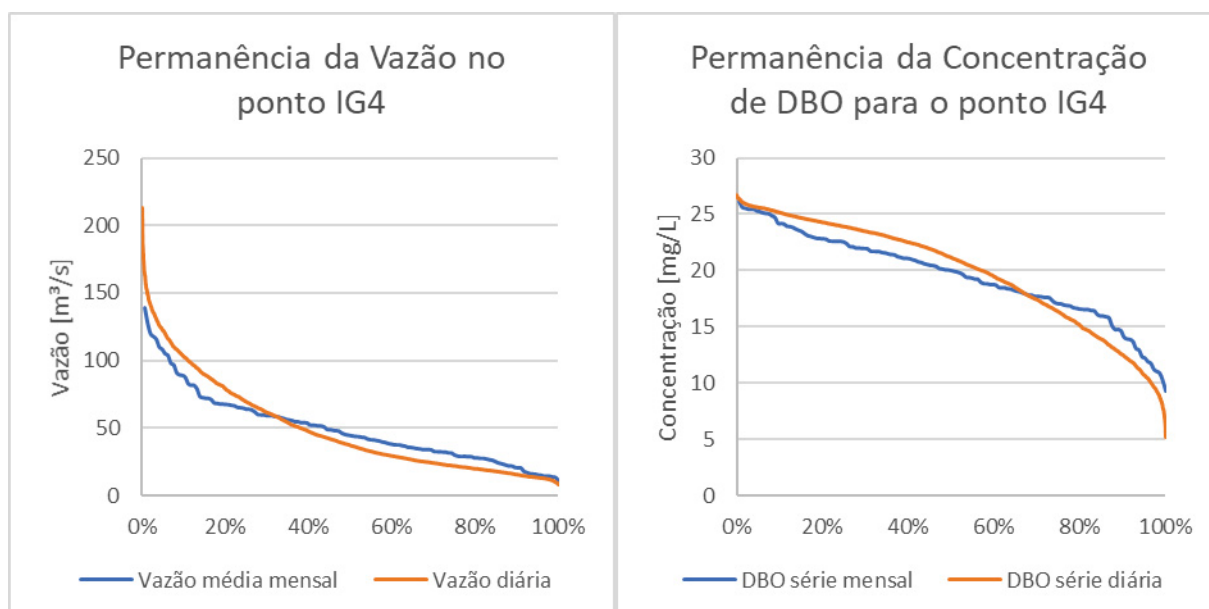
Os dados gerados com a curva apresentaram médias muito próximas que dos dados monitorados, conforme é possível verificar através dos *boxplots* para todos os pontos. Nota-se que mesmo com o aumento significativo das vazões a jusante, as concentrações de DBO se mantiveram superiores em relação aos pontos a montante, o que está em conformidade com o esperado, uma vez que os dados observados possuem maiores concentrações no IG4 e IG3, que no ponto IG2.

Observando para o ponto IG4 os *boxplots* dos dados monitorados e comparando com os dados gerados, a curva gerada apresentou um valor mínimo de 12,93 mg/L, enquanto para os dados monitorados a concentração mínima de DBO é de 3,80 mg/L. As séries temporais, apresentaram de modo geral pouca representatividade de concentrações altas.

6.2 VARIABILIDADE DADOS DIÁRIOS E MENSAIS

A fim de avaliar o impacto da avaliação da disponibilidade hídrica na escala mensal foram geradas as curvas de permanência para o ponto IG4, assim como os dados em uma escala diária, FIGURA 22.

FIGURA 22: GRÁFICOS DAS CURVAS DE PERMANÊNCIA PARA DADOS DIÁRIOS E MENSAIS DE CONCENTRAÇÃO E VAZÃO



A análise da permanência de 95% dos dados de vazão na escala mensal diminuiu de 15,52 m^3/s para 13,89 m^3/s quando analisado na escala diária. As vazões

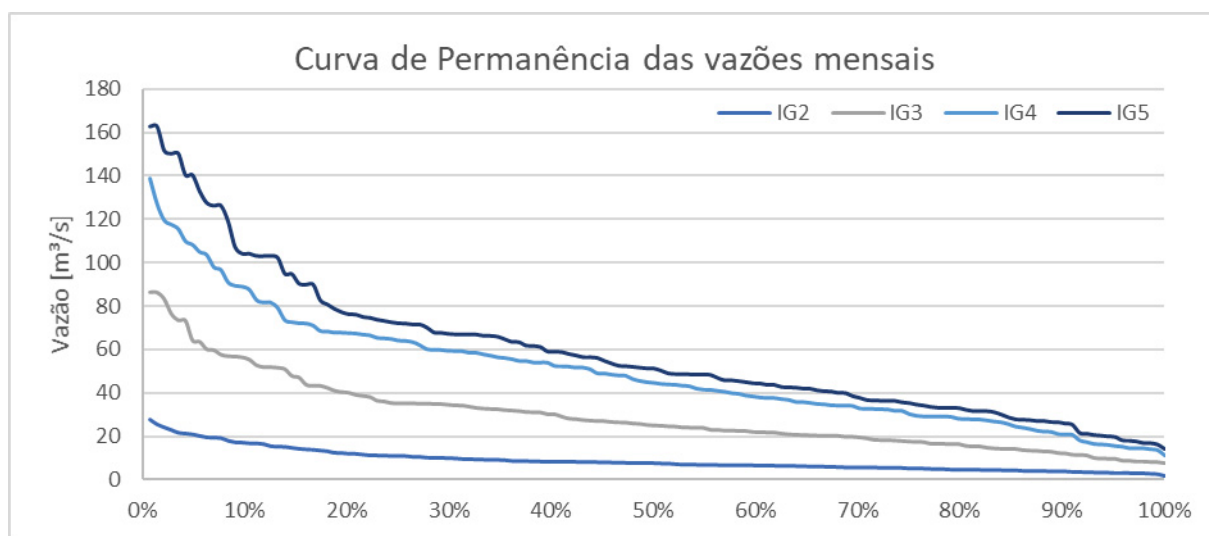
máximas também são melhores representadas na escala diária, com a máxima de 212 m³/s, enquanto os dados médios amortecem os extremos.

O mesmo comportamento ocorreu para os dados de concentração de DBO que na escala mensal eram 12,26 mg/L diminuíram quando analisadas em escala diária para 10,84 mg/L.

6.3 DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO ALTO IGUAÇU

A disponibilidade hídrica no rio Iguaçu foi avaliada através da análise das curvas das vazões mensais e das concentrações pelas diferentes séries de DBO. A FIGURA 23 apresenta as curvas de permanência para as vazões dos 4 pontos de monitoramento no Alto Iguaçu.

FIGURA 23: CURVAS DE PERMANÊNCIA DA VAZÃO PARA OS PONTOS DE MONITORAMENTO DO ALTO IGUAÇU



A TABELA 7 apresenta alguns valores de referência extraídos das curvas de permanência.

TABELA 7 - DISPONIBILIDADE QUANTITATIVA DO RIO IGUAÇU

Pontos	Vazões [m³/s]			
	Q _{95%}	Q _{90%}	Q _{80%}	Q _{50%}
IG2	3,05	3,62	4,52	6,98
IG3	9,71	12,85	16,36	24,87
IG4	15,52	20,93	28	44,1
IG5	17,89	25,07	31,38	48,79

Segundo as diretrizes de outorga (50% da $Q_{95\%}$), é possível captar no ponto IG4 até 7,95 m³/s. Atualmente está sendo concedida a outorga de 0,45 m³/s a ETA Industrial, que capta água nesse ponto. A vazão em 50% de frequência é de 44,1 m³/s, isso significa que em pelo menos em metade do tempo existe um potencial quase três vezes maior que a alocação seguindo a diretriz de 95% prevista para bacia do Iguaçu.

A fim de avaliar a disponibilidade quanto a qualidade em termos de DBO no Alto Iguaçu e estabelecer uma relação com a classificação do CONAMA/2005, nas FIGURA 24 e FIGURA 25 os dados de concentrações foram organizados de modo a determinar a frequência dos dados em cada faixa de concentração determinada pelo enquadramento.

FIGURA 24: ANÁLISE DA FREQUÊNCIA DA DBO MONITORADA NAS CLASSES DE ENQUADRAMENTO

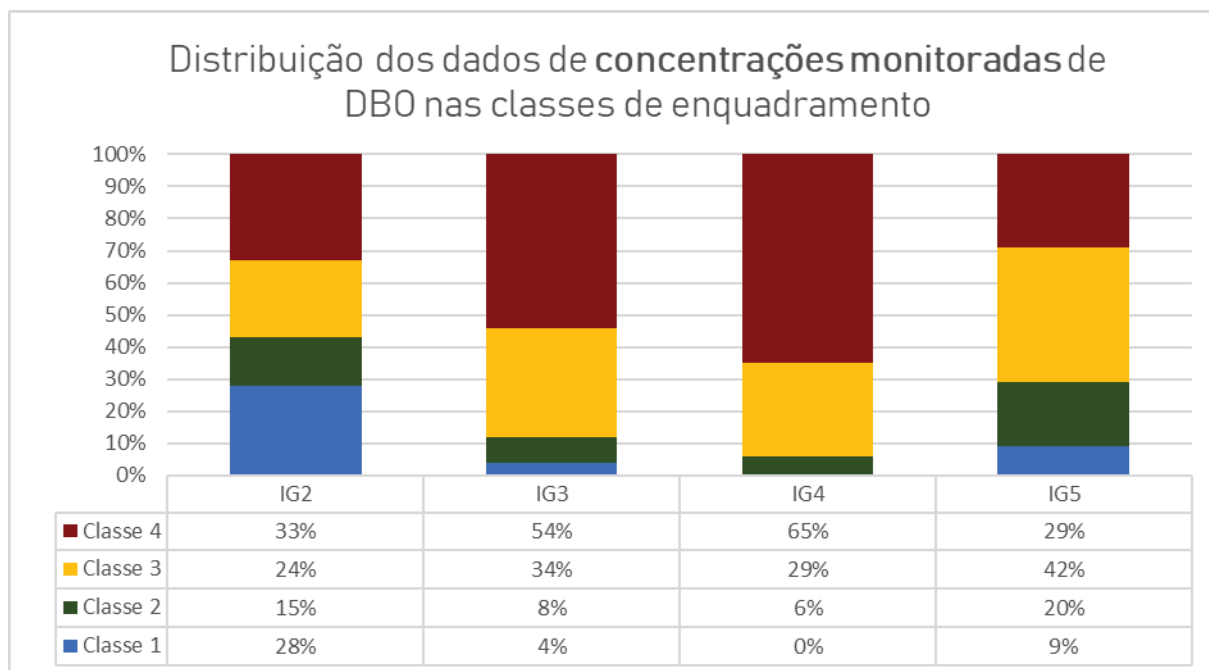
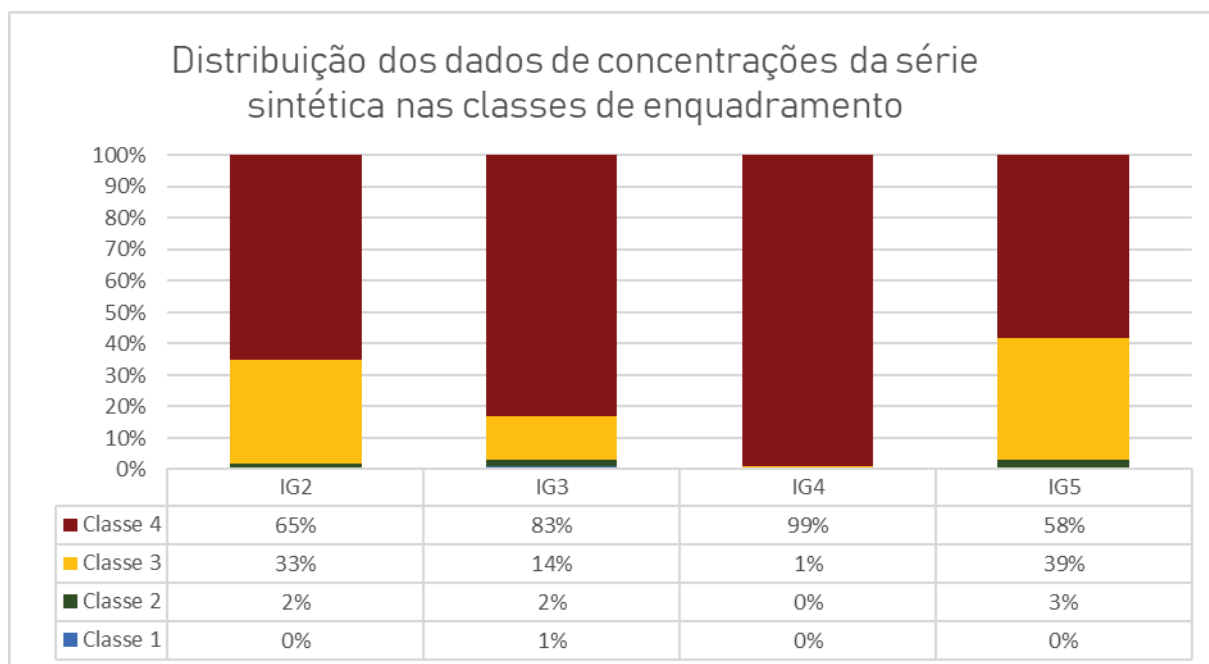


FIGURA 25: ANÁLISE DA FREQUÊNCIA DA SÉRIE TEMPORAL DE DBO NAS CLASSES DE ENQUADRAMENTO



O Instituto das Águas do Paraná enquadra o rio Iguaçu nesse trecho com classe 2, entretanto na FIGURA 24, nenhum dos pontos monitorados neste rio obteve a maior frequência de concentração de DBO na classe 2. Os pontos IG2, IG3 e IG4 apresentaram a maior ocorrência de concentração pertencente a classe 4, enquanto o ponto IG5 na classe 3. O ponto IG2 apresentou grande variabilidade na concentração dos dados, o que resultou em uma frequência próxima dos dados distribuído nas diferentes classes de enquadramento.

O ponto IG4, local em que pretende-se estudar a implantação do sistema de reúso, apresentou a pior qualidade quanto as concentrações de DBO, com 65% das amostras pertencentes à classe 4, com apenas 6% dos monitoramentos dentro da classe de enquadramento 2. A localização do ponto que no final da região metropolitana após a passagem por Curitiba sugere que essa alta concentração de matéria orgânica seja devido a influência urbana em lançamentos de efluentes e resíduos. As concentrações de DBO em 90% do tempo são superiores a 5,94 mg/L, valor referente a classe 3, e na metade do tempo valores superiores a 12,7 mg/L, classe 4.

Os dados das séries temporais geradas, apresentaram menor dispersão comparados com os dados monitorados, o que ocasionou a menor frequência de eventos nas classes de menor concentração: classe 1 e classe 2.

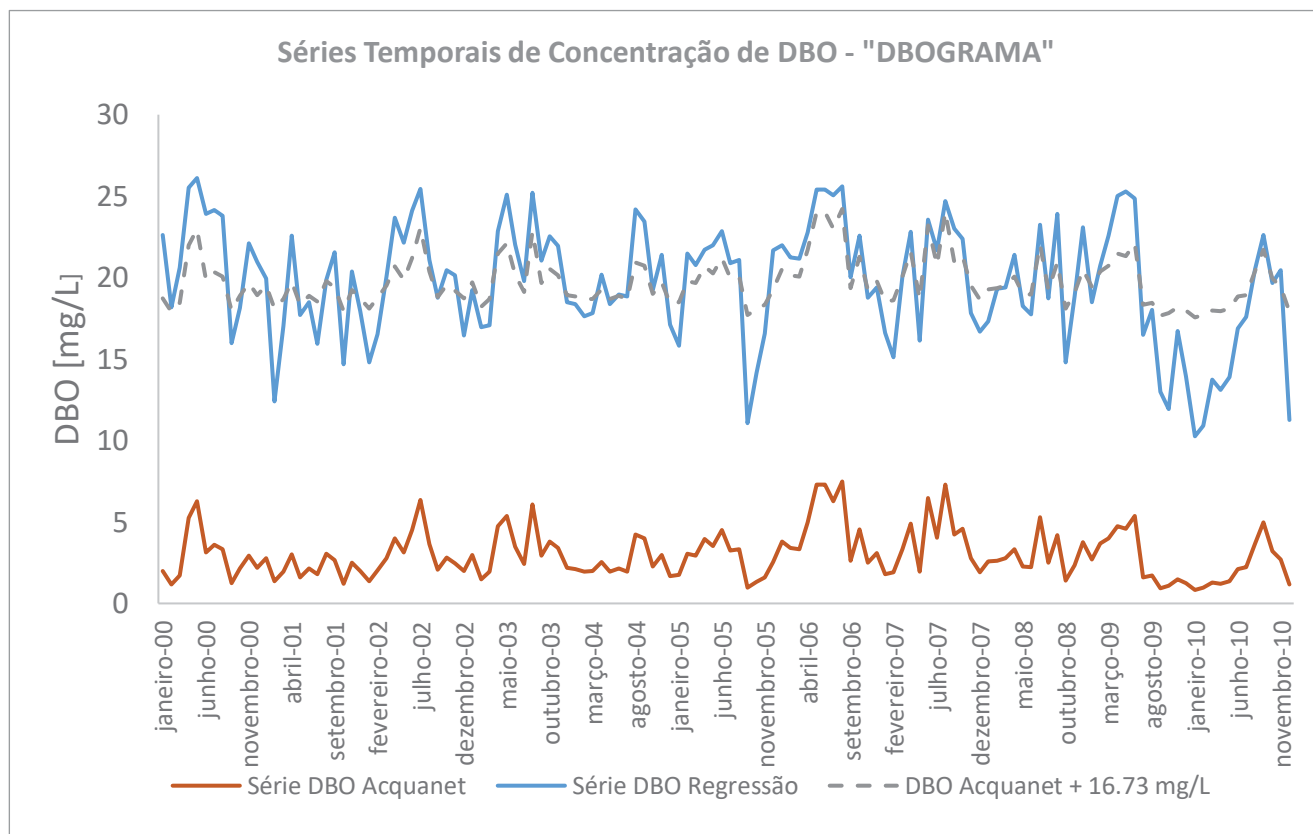
Os pontos IG2, IG3 e IG4, permaneceram enquadrados majoritariamente como classe 4, mas com maior número de dados agrupados nesta classe que na análise da frequência com os dados monitorados. O ponto IG5 passou a ter mais dados pertencentes também à classe 4.

6.4 DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO PONTO IG4

6.4.1 Comparação das séries geradas pela regressão e com dados de outorga

A qualidade quanto à DBO na área de interesse, foi analisada por 3 métodos: análise das concentrações amostradas, geração de série temporal através da regressão e pela simulação mensal dos dados outorgados com o AcquaNet. A média da diferença entre as séries de concentrações obtidas foi de 16,73 mg/L. Na FIGURA 26 estão as séries de concentração mensal de DBO geradas a partir dos dois métodos e o resultado da série de DBO gerada com o Acquanet acrescida da média da diferença das séries.

FIGURA 26: GRÁFICO DAS SÉRIES TEMPORAIS DE DBO PELA REGRESSÃO E SIMULADA PELO ACQUANET PARA O PONTO IG4.

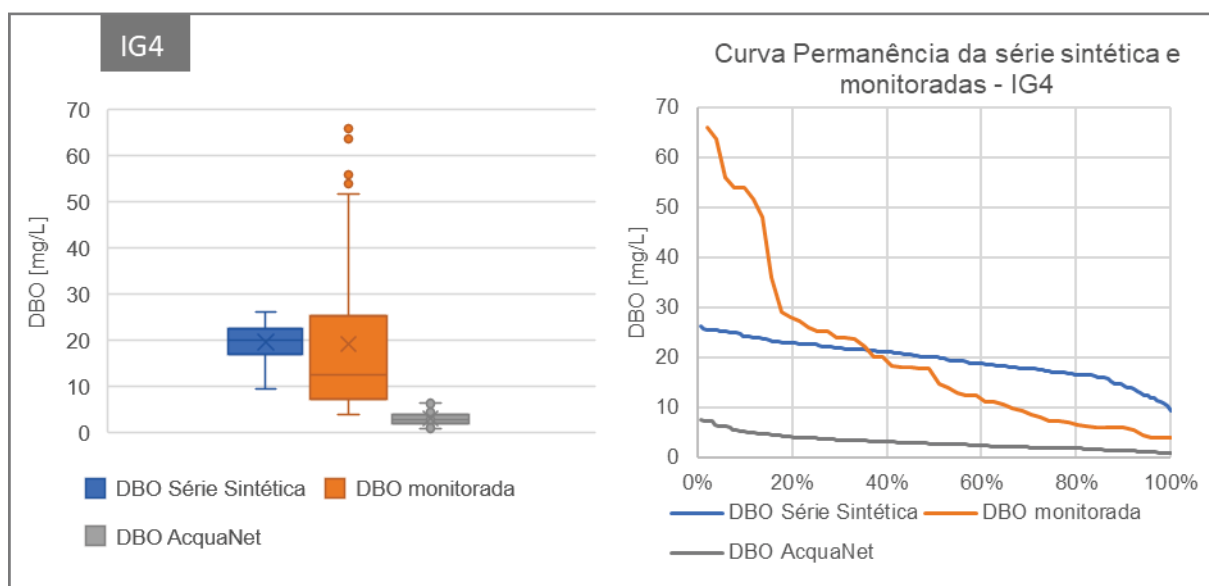


A série de DBO gerada sinteticamente e a gerada pelo AcquaNet apresentaram uma correlação de Pearson de 0,86. Isso se deve principalmente devido a relação com a vazão que os métodos selecionados geram nas séries.

Análises de probabilidade dos dados gerados

As análises estatísticas de frequência e *boxplot* dos 3 métodos estão na FIGURA 27

FIGURA 27: GRÁFICOS BOXPLOT E CURVAS DE PERMANÊNCIA DO DADOS DE DBO NO PONTO IG4



DBO Monitorada/Amostrada: Os dados são resultantes de amostras, a média dos dados é de 19,18 mg/L, e apresenta a maior distribuição nos dados quando comparado com as demais, com uma distribuição assimétrica superior a mediana.

DBO Série Temporal pela Regressão: Os dados gerados são mensais de concentração. Resultou na média da 19,53 mg/L, próxima a média monitorada. A distribuição dos dados é menor quando comparado aos dados monitorados, o que é consequência da curva ajustada. A distribuição dos dados é assimétrica também, entretanto, inferior a mediana.

DBO Série AcquaNet: Os dados com as concentrações outorgadas de lançamento foram simulados na escala mensal com as vazões médias mensais. A média das concentrações desses dados é de 3,2 mg/L, e é menor que das duas outras análises. A consequência é a não consideração das cargas provenientes de fontes difusas,

carregamento de cargas adjacentes ao leito do rio e, também, há a possibilidade de lançamentos não outorgados no rio. Outra característica é a menor distribuição dos dados em relação às observações, o que é uma consequência das outorgas serem consideradas valores constantes, quando não necessariamente as concentrações e as vazões lançadas sejam os valores outorgados e constantes.

Só as cargas de efluentes outorgadas são responsáveis por deixar o rio com qualidade de referência do CONAMA de nível 2 neste ponto. A tradicional forma de alocação dos recursos hídricos para a diluição de lançamentos prevê apenas os valores outorgados na base de cálculo, negligenciando demais fontes difusas.

Análise do impacto das concentrações obtidas para a gestão dos recursos hídricos no ponto IG4

Na TABELA 8 está uma síntese das concentrações através dos distintos métodos e as vazões de referência para o ponto IG4, obtidas através da composição das curvas de permanência.

TABELA 8: SÍNTESE FREQUÊNCIA DOS DADOS QUALI-QUANTITATIVOS PARA O PONTO IG4

Frequência	Vazão [m³/s]	DBO [mg/l]		
		Observada	Regressão	AcquaNet
95%	15,5	4,5	12,3	1,2
90%	20,9	5,9	14,1	1,4
80%	28	7	16,6	1,8
50%	44,1	12,7	20,2	2,7
20%	67,7	27,1	22,1	4
5%	108,3	56	25,3	6,3

Em termos da **quantidade** de água a preocupação quanto a análise do risco é garantir a preservação do meio aquático e a garantia da disponibilidade hídrica para todos os usuários. Do mesmo modo, a análise ao risco da **qualidade** da água, pode ser avaliada sob os mesmos aspectos. Assim, uma possibilidade é estabelecer **probabilidades máximas** de excedência ao longo do tempo, ao invés de considerar valores de probabilidades inferiores fixas, como é usualmente estabelecido para as vazões. Afinal para o usuário da água para uma finalidade de consumo humano, a **qualidade deverá ser garantida em 100% do tempo**. Normalmente considera-se ações de tratamento dissociadas da variabilidade da qualidade de origem.

Em contrapartida avaliar a qualidade a fim da preservação da biota aquática, essa poderia ser suscetível a uma margem de tolerância da qualidade, do mesmo modo que o enquadramento propõe faixas de concentrações. Como exemplo o que pela análise atual a classe 2 corresponde a margem de 3 a 5 mg/L, considerando a análise da probabilidade de ocorrência o enquadramento pode ser expresso em termos da frequência no tempo que ocorre essa faixa de concentrações.

Entretanto, essa pesquisa não pretende dispor sobre a frequência padrão para a qualidade, mas faz do caminho inverso, avaliando a concentração padrão e a frequência no tempo que está ocorre.

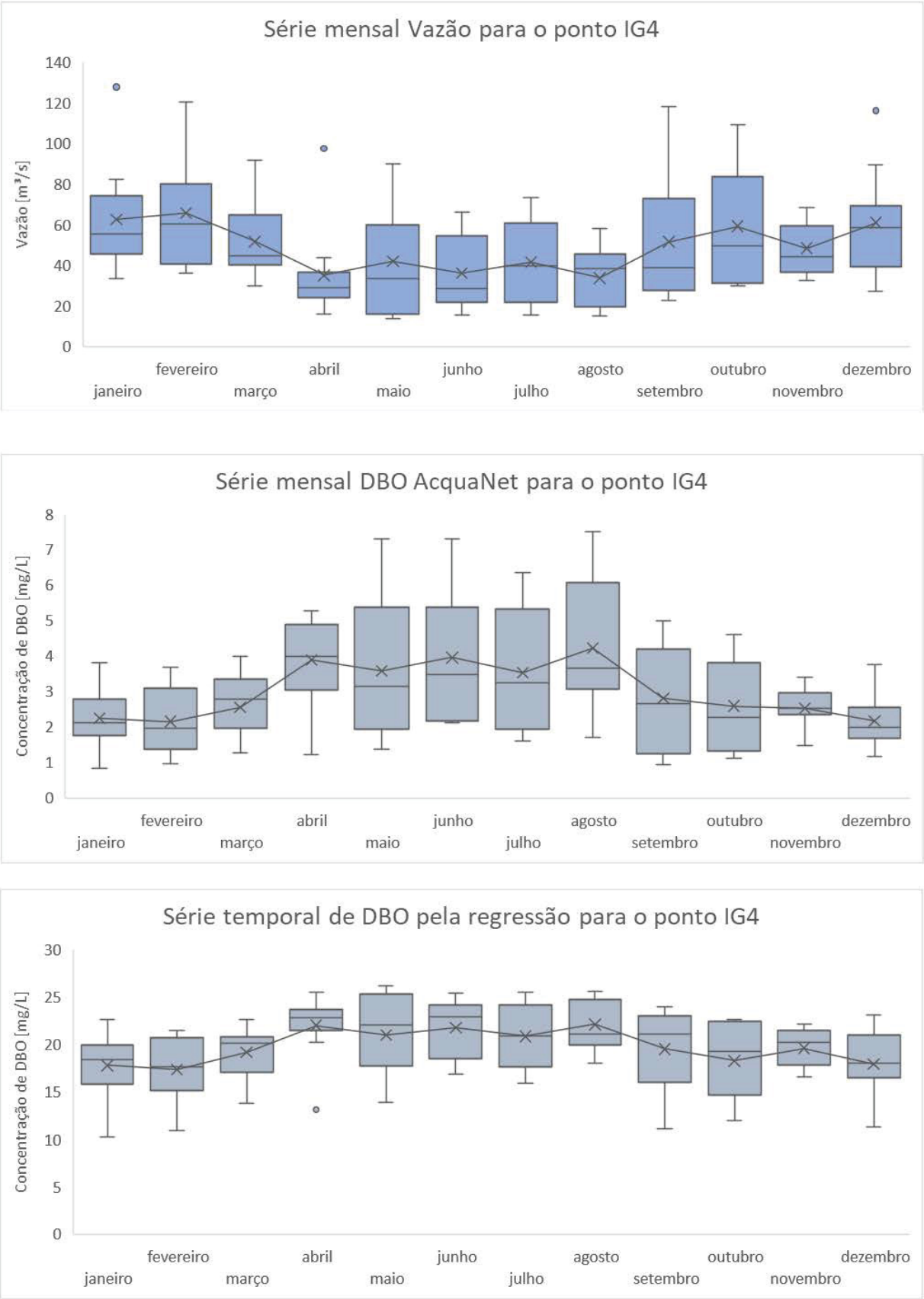
Então, usando as diretrizes do CONAMA/2005 como parâmetro de preservação do meio ambiente, em critérios temporais, em 5% do tempo só as concentrações outorgadas a jusante do ponto IG4 são responsáveis para enquadrar o rio como classe 3. Apesar de uma frequência relativamente baixa, seria necessária uma análise aprofundada dos impactos ao meio ambiente ao longo prazo, em que eventos esporádicos poderiam acarretar em uma desregulação dos processos naturais.

Enquanto avaliado sob a perspectiva do usuário industrial, com o limite hipotético de 10 mg/L, de acordo com os dados outorgados, poderia ser utilizada a água em todo o tempo sem nenhum tratamento preliminar no quesito de matéria orgânica. Entretanto, não é o que os dados amostrados demonstram. Em uma tentativa da reprodução dos dados amostrados em uma escala mensal através da regressão das medições com as vazões, sugere que em todo o tempo o usuário industrial deveria promover algum tipo de tratamento quanto a matéria orgânica, e como possivelmente a necessidade do usuário é integral, ou seja, deverá em 100% do tempo poder utilizar do recurso hídrico sem risco, isso consideraria concentrações superiores a 25,3 mg/L de DBO, a serem tratadas.

6.4.2 Variabilidade temporal

A fim de avaliar a variabilidade temporal da disponibilidade hídrica, os dados mensais de vazão e de concentração de DBO dos 12 anos foram graficamente agrupados mês a mês e gerado *boxplots* (FIGURA 28).

FIGURA 28: BOXPLOTS MÊS A MÊS DOS DADOS DE VAZÃO E DE CONCENTRAÇÕES DE DBO



A vazão média diminui aproximadamente 20 m³/s entre os meses de abril e agosto no rio Iguaçu no ponto IG4, chegando a maior média em fevereiro com 65,6 m³/s e a menor vazão média em agosto com 33,7 m³/s.

A variabilidade do volume de água do rio implica em uma taxa de diluição variável das concentrações. Os métodos de obtenção da série temporal de DBO usados apresentam ambos relação com a vazão. A correlação de Pearson com a vazão para os dados de concentração simulados com as concentrações outorgados no AcquaNet foi de -0,82, e correlação de -0,99 para os dados gerados com a curva exponencial. Deste modo, as concentrações mais altas aconteceram no mesmo período de meses de menor vazão.

A série do AcquaNet apresentou a maior concentração em agosto de 4,2 mg/L de DBO. Essa concentração segundo a normativa do CONAMA/2005, enquadraria o rio em classe 2, considerando em sua base de cálculo apenas os valores outorgados e desconsiderando qualquer fonte difusa.

A série temporal pela regressão apresentou médias altas para todos os meses, e menor variabilidade relativa sazonal quando comparado ao outro método, com a concentração média mínima em fevereiro de 17,3 mg/L e a máxima média de 22,1 mg/L em agosto.

A análise temporal dos dados de qualidade permite, assim como os de quantidade, a reflexão quanto a possibilidade de alocação variada dos recursos hídricos, em períodos hidrológicos favoráveis, nesse caso entre os meses de setembro a março seria possível otimizar o uso da água, tanto para captação quanto para a diluição de efluentes.

Assim, para avaliar e simular uma possível alocação variável, mês a mês, na FIGURA 29 foram feitas análises de probabilidade usando com referência a frequência de 95% das vazões, e são comparadas com a mesma frequência para o cálculo usando o conjunto completo dos dados ($Q_{95\%}$, vazão de 15,52 m³/s, linha tracejada). O mesmo foi feito para as concentrações para os dois métodos na **Error! Reference source not found.** e FIGURA 31.

FIGURA 29 : VAZÃO DE 95% MÊS A MÊS A PARTIR DOS DADOS MENSAIS DE VAZÃO PARA 12 ANOS

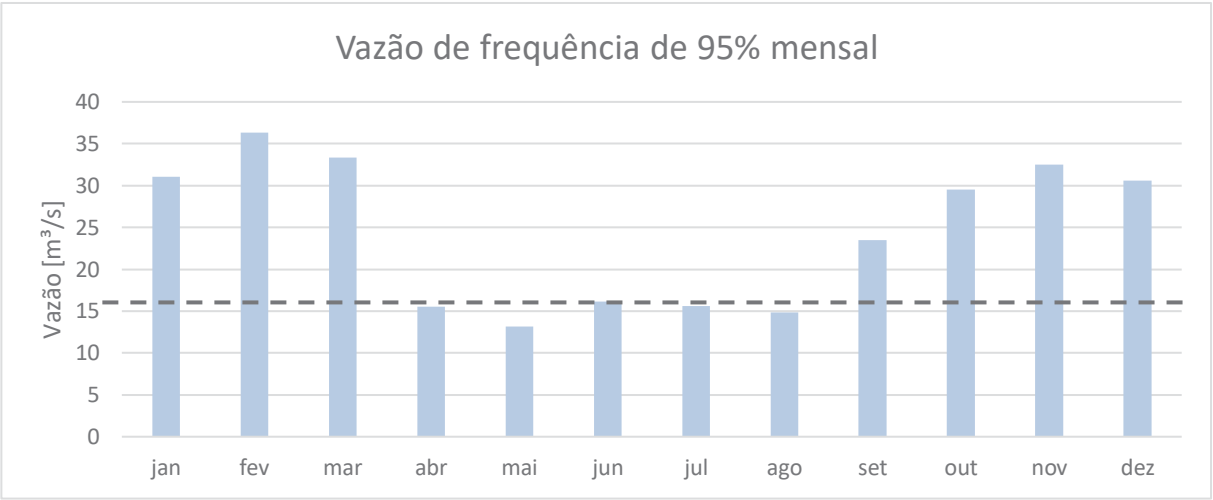


FIGURA 30: CONCENTRAÇÃO DE 95% MÊS A MÊS A PARTIR DA REGRESSÃO

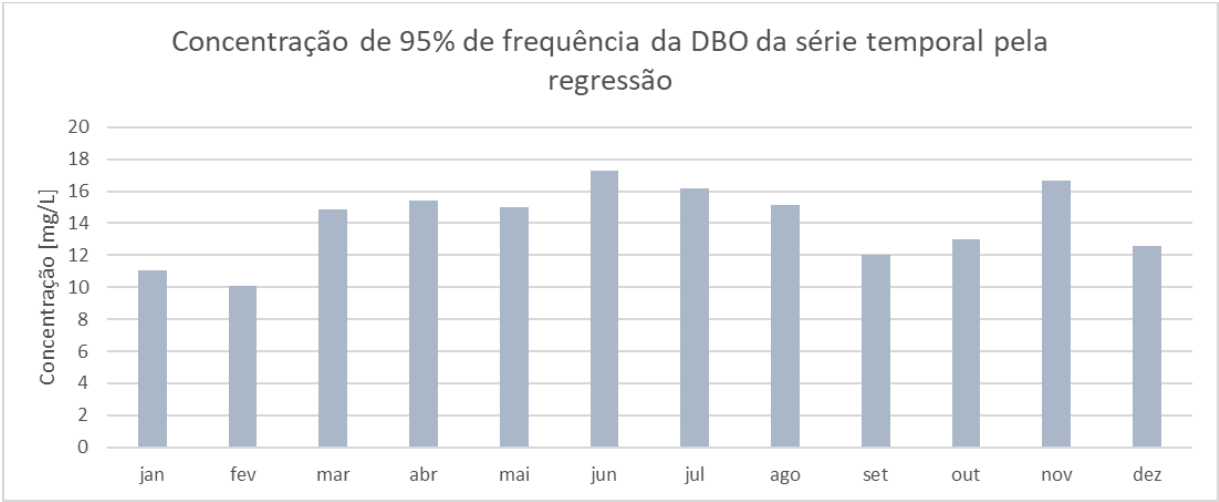
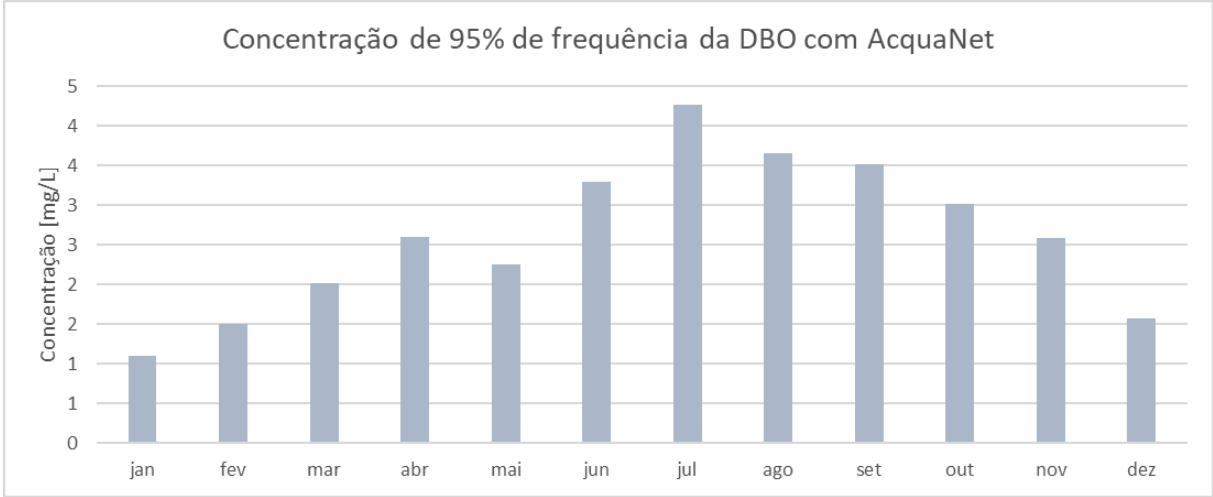


FIGURA 31: CONCENTRAÇÃO DE 95% MÊS A MÊS A PARTIR DAS OUTORGAS



A variabilidade mensal das vazões permite uma maior alocação da água nos meses de primavera e verão, chegando à vazão de permanência 95% de 36,31 m³/s no mês de fevereiro. Entre os meses entre abril e agosto, a Q_{95%} apresentou valores menores que a obtida através da análise da série completa.

Os dados de concentração pelo ajuste da curva exponencial, apresentaram menor variabilidade temporal relativa, conforme já avaliado nas seções anteriores, devido a curva ajustada representar melhor a média e comprometer os extremos. Chegando à concentração de 10,12 mg/L em fevereiro, ou seja, em 95% dos dados pelo menos essa concentração é encontrada senão maior.

Já os dados de concentração obtidos através dos dados outorgados, apresentaram uma maior variabilidade, e o mês de maior concentração não coincidiu com o mês de menor vazão. Julho apresentou a concentração de 4,27 mg/L em 95% de frequência. A maior concentração aconteceu após a sequência de meses mais secos, o método de cálculo do AcquaNet apresenta uma menor correlação com a vazão conforme avaliado com o coeficiente Pearson.

A análise do risco das vazões em diferentes períodos do ano, e no impacto que também causa a qualidade dos corpos receptores, uma vez que um menor volume de água estará disponível para diluição, também conduz a necessidade de um método de enquadramento e outorga que garanta a qualidade e quantidade dos recursos hídricos ao longo do tempo.

6.5 DISPONIBILIDADE HÍDRICA COM A INTRODUÇÃO DE SISTEMAS DE REÚSO

A TABELA 9, sintetiza os cenários de reúso, as taxas de reciclo, e os resultados quanto a vazão de lançamento, disponibilidade para o usuário, aumento da disponibilidade em relação a prática atual.

TABELA 9: SÍNTESE DOS CENÁRIOS ESTUDADOS DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA COM INTRODUÇÃO DO REÚSO

Estratégia	C	Taxa de Captação	Taxa de reciclo da ETE	Taxa de Reciclo do Efluente Industrial	Vazão Lançada (m³/s)	Vazão Disponível p/ Usuário (m³/s)	Aumento da disponibilidade de	Descrição
	1	6%	0%	0%	0,52	0,45	0%	Situação Atual sem Reúso
Aumentar a disponibilidade com o Reúso e manter a captação	2	6%	50%	0%	0,44	0,53	17%	Reúso de 50% da ETE
	3	6%	100%	0%	0,36	0,61	34%	Reúso de 100% da ETE
	4	6%	100%	50%	0,18	0,78	74%	Reúso de 100% da ETE + Reúso 50% da Indústria
	5	6%	100%	100%	0,00	0,96	114%	Captação atual com o máximo reúso
Manter a disponibilidade inicial com o Reúso e diminuir a captação	6	4%	100%	0%	0,23	0,45	0%	Redução da Captação e Reúso da ETE
	7	1%	100%	100%	0,00	0,45	0%	Redução da Captação com máximo reúso
Aumentar a disponibilidade com o Reúso e aumentar a captação	8	25%	100%	100%	0,00	3,74	731%	Máximo reúso e aumento da captação
	9	50%	100%	100%	0,00	7,32	1526%	Máximo reúso e aumento da captação
	10	75%	100%	100%	0,00	10,89	2321%	Máximo reúso e aumento da captação
	11	100%	100%	100%	0,00	14,47	3116%	Máximo reúso e aumento da captação

A taxa de captação atualmente é de 6% ($0,45 \text{ m}^3/\text{s}$) do volume disponível do rio, seguindo o limite de 50% da $Q_{95\%}$ ($7,95 \text{ m}^3/\text{s}$). Como no cenário base, C1, não há práticas de reúso, o volume captado representa o total disponível para o usuário, e igual a $0,45 \text{ m}^3/\text{s}$. O lançamento é o volume de água descartado no rio que nessa pesquisa é proveniente de duas origens: da ETE e do retorno da indústria, assim, resultando atualmente em um lançamento total de $0,52 \text{ m}^3/\text{s}$.

(1) Aumentar a disponibilidade com o Reúso e manter a captação

Apenas inserido a prática de reúso é possível aumentar a vazão disponível para o usuário para até $0,96 \text{ m}^3/\text{s}$, isso consideraria em nenhum volume de água retornado para o corpo hídrico.

(2) Manter a disponibilidade inicial com o Reúso e diminuir a captação

É possível diminuir o volume de água captado para 1%, $0,07 \text{ m}^3/\text{s}$, com a introdução do sistema de reúso.

(3) Aumentar a disponibilidade com o Reúso e aumentar a captação

Considerando um cenário crítico máximo, o uso total da água disponível a captação e o reúso total dos efluentes a disponibilidade hídrica para os usuários é de $14,47 \text{ m}^3/\text{s}$, 3116% em relação ao volume praticado atualmente.

Nas FIGURA 33, FIGURA 32 e FIGURA 34, estão os gráficos resultados para cada cenário, com as concentrações de mistura da DBO (água do rio + água da ETE + água da indústria) em virtude das oscilações de concentração verificadas no rio, que são representadas em relação a frequência do tempo. Uma vez que a concentração de mistura é variável, a eficiência de tratamento para atingir o padrão também é variável, e está representada no eixo secundário dos gráficos.

As diferenças das figuras (FIGURA 33, FIGURA 32 e FIGURA 34) são as concentrações consideradas diferentes de DBO no rio devido aos métodos aplicados (Dados Monitorados, Série Temporal pelo método de Regressão e pelo AcquaNet).

FIGURA 33: GRÁFICOS DOS CENÁRIOS DE REÚSO COM A SÉRIE DE DBO AMOSTRADA. Eixo principal: concentrações de mistura (água captada rio + reciclo ETE + reciclo industrial). Eixo secundário: As eficiências de tratamento para padrão de DBO da EPA, 10 mg/L.

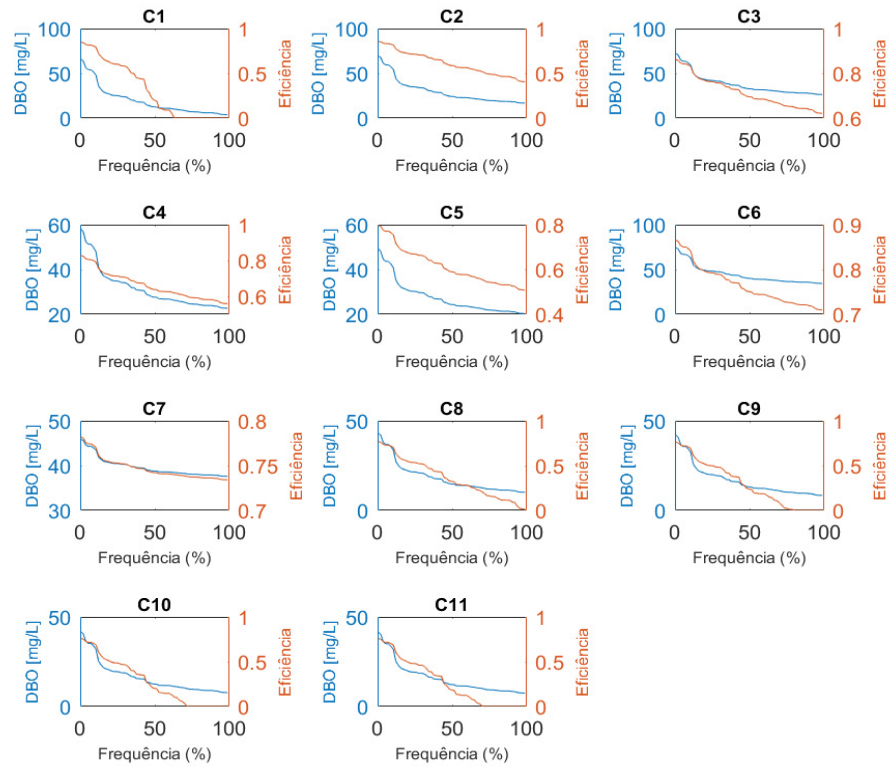


FIGURA 32: DBO SÉRIE TEMPORAL PELA REGRESSÃO

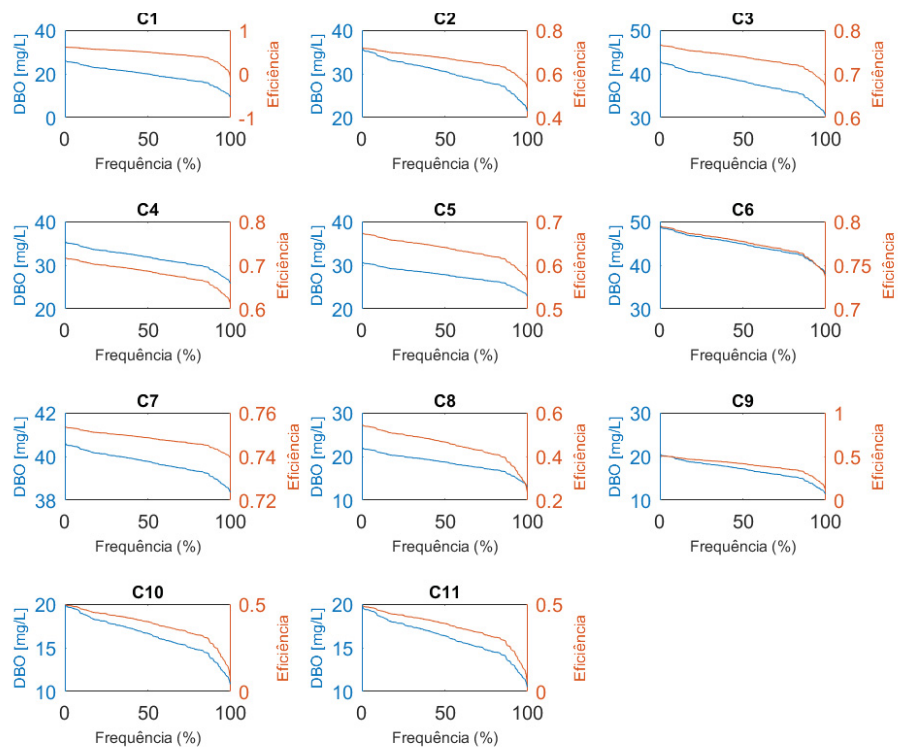
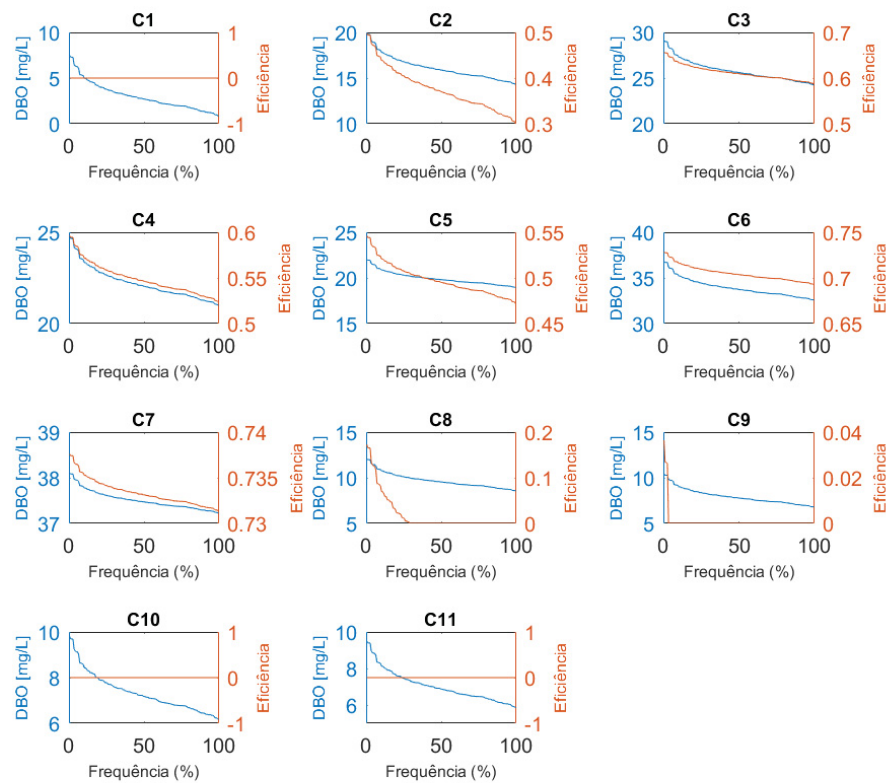


FIGURA 34: DBO ACQUANET



A TABELA 10 apresenta uma síntese dos gráficos anteriores e análises estatísticas desses dados. A estimativa da carga total a ser tratada por ano foi calculada com base das concentrações das misturas (água do rio + água da ETE + água da indústria), sendo a água do rio variável conforme as curvas de permanências, foi calculada a área embaixo da curva de permanencia apresentado nos gráficos anteriores.

Na TABELA 10, a eficiência de tratamento apresentada são duas, que atenda a concentração em 100% dos dados e em 50% dos dados. Assim, como o desvio padrão das eficiências de tratamento A carga total de lançamento ano para cada cenário foi calculada através da mistura dos efluentes da ETE e da Indústria.

TABELA 10: SÍNTESE DA EFICIÊNCIA DE TRATAMENTO NECESSÁRIA PARA CADA CENÁRIO COM A O USO DOS DADOS DE CONCENTRAÇÕES DOS DIFERENTES MÉTODOS

C	Monitorado			Regressão			AcquaNet			Carga Lançada no Rio [ton/ano]	Carga que deixa de ser lançada no rio [ton/ano]		
	Carga Tratada [ton/ano]	Eficiência de Tratamento		Carga Tratada [ton/ano]	Eficiência de Tratamento		Carga Tratada [ton/ano]	Eficiência de Tratamento					
		(*1)	(*4)		Desvio Padrão	(*1)		(*4)	Desvio Padrão			(*1)	(*4)
1	53,2	0,85	0,19	0,31	132,2	0,62	0,51	0,13	11,7	0,00	0,00	567,65	0,00
2	277,3	0,86	0,59	0,13	358,5	0,72	0,68	0,04	238,0	0,50	0,37	340,59	227,06
3	501,5	0,86	0,69	0,07	584,9	0,77	0,74	0,02	464,2	0,66	0,61	113,53	454,12
4	557,5	0,83	0,64	0,08	641,5	0,72	0,69	0,02	520,8	0,60	0,55	56,76	510,88
5	613,5	0,80	0,59	0,08	698,1	0,67	0,64	0,02	577,4	0,55	0,50	0,00	567,65
6	482,5	0,87	0,75	0,04	537,9	0,80	0,78	0,01	460,1	0,73	0,70	72,53	454,12
7	526,9	0,78	0,74	0,01	542,7	0,75	0,75	0,00	526,3	0,74	0,73	0,00	526,65
8	1.178,6	0,77	0,32	0,22	1.537,1	0,55	0,47	0,06	1.004,0	0,17	0,00	0,00	955,54
9	1.908,9	0,76	0,23	0,25	2.621,5	0,51	0,42	0,08	1.555,6	0,04	0,00	0,00	1456,96
10	2.638,0	0,76	0,20	0,26	3.702,9	0,50	0,41	0,09	2.106,8	0,00	0,00	0,00	1958,39
11	3.368,3	0,76	0,18	0,26	4.787,3	0,49	0,40	0,09	2.658,4	0,00	0,00	0,00	2459,81

(*1) Eficiência de Tratamento que atenda a todos as concentrações (100%)

(*4) Eficiência de Tratamento que atende 50%

Análise geral comparando dos dados de DBO provenientes dos diferentes métodos

A média da eficiência de tratamento para as concentrações amostrados e para os dados da série temporal de DBO resultaram em valores próximos, eficiência média de 0,67 e 0,62 respectivamente. Entretanto, a variação da eficiência para as diferentes frequências foi de maior amplitude para os dados amostrados, a maior variação foi no cenário 1, conforme a TABELA 10, com 0,68 de diferença na eficiência que atende 100% para a que atende 50%. Enquanto, a série temporal não apresentou variação significativa para eficiência, que teve a máxima variação de 0,11 no cenário 1.

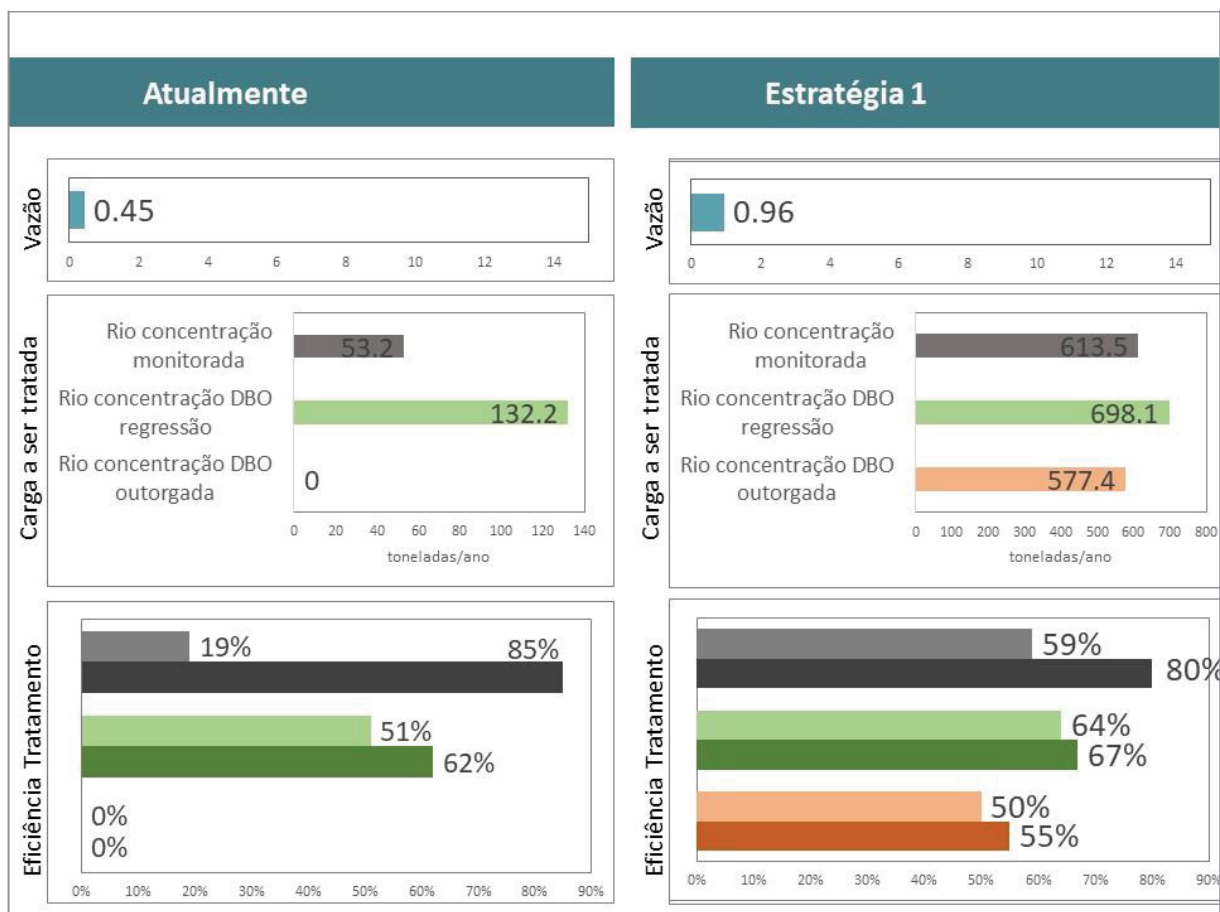
As concentrações de mistura utilizando os dados obtidos com o AcquaNet apresentaram menor média de eficiência de tratamento requerida, de 0,34, em que vários cenários não necessitaram de tratamento, eficiência zero, uma vez que as concentrações quando apenas consideradas as outorgas apresentaram baixos valores.

Análise do impacto das estratégias adotadas com os diferentes cenários de reúso com a série de DBO temporal

(1) - Aumentar a disponibilidade com o Reúso e manter a captação

Na Figura 35 estão infográficos comparativos entre o cenário atual com o cenário de maior disponibilidade hídrica da adoção da Estratégia 1 (C5).

FIGURA 35: INFOGRÁFICO DO CENÁRIO DE MAIOR DISPONIBILIDADE HÍDRICA SEGUINDO A ESTRATÉGIA 1



É possível aumentar a disponibilidade hídrica até 114% em relação ao volume utilizado atualmente apenas inserindo como fonte as águas de reúso. Reusar a água da ETE nessa proporção requer um nível de tratamento superior ao que usar apenas a água captada. O reúso integral dos efluentes da ETE e da indústria promove a diminuição do aporte de 567,65 toneladas/ano de matéria orgânica no rio Iguaçu, o que significa também, que essa carga precisaria ser parcialmente tratada para o uso industrial.

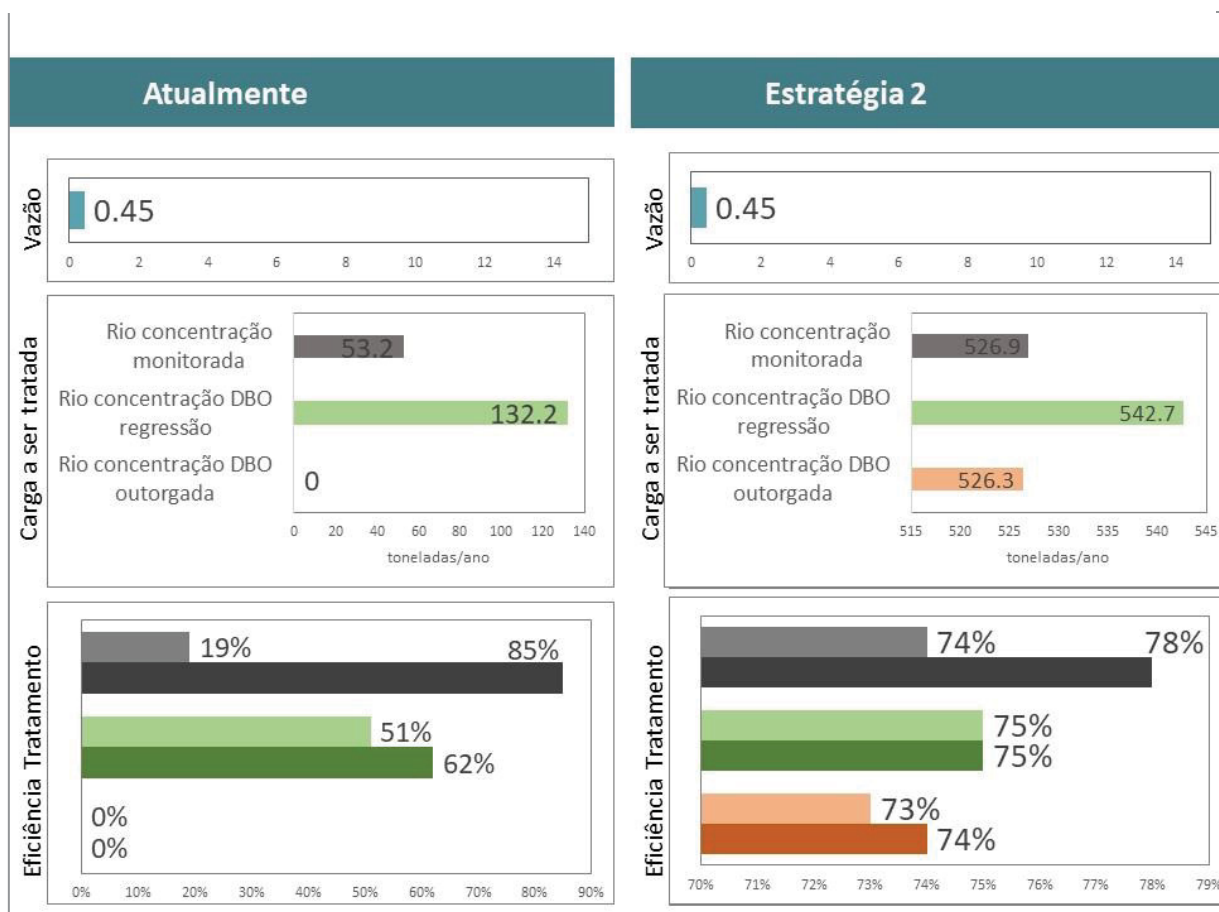
A eficiência de tratamento nos cenários com o reúso é próximo da eficiência de tratamento necessária apenas com a captação (aumento da eficiência requerida menor que 10%) quando consideradas as concentrações amostradas e as da série temporal pela regressão.

Já as concentrações de DBO do rio com base nos dados outorgados (série de dados AcquaNet), a introdução do reúso sugere a necessidade de tratamento em termos de matéria orgânica, o que era dispensável quando o uso da água é somente proveniente da captação do rio.

(2) - Manter a disponibilidade inicial com o Reúso e diminuir a captação

A introdução dos reúsos possibilita a diminuição da captação de água, utilizando 1% da capacidade de retirada e garantindo o mesmo volume de água que atualmente outorgado. Na Figura 36 estão infográficos comparativos entre o cenário atual com o cenário de maior aproveitamento da água de reúso na Estratégia 2 (C7).

FIGURA 36: INFOGRÁFICO DO CENÁRIO DE MAIOR APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE REÚSO SEGUINDO A ESTRATÉGIA 2

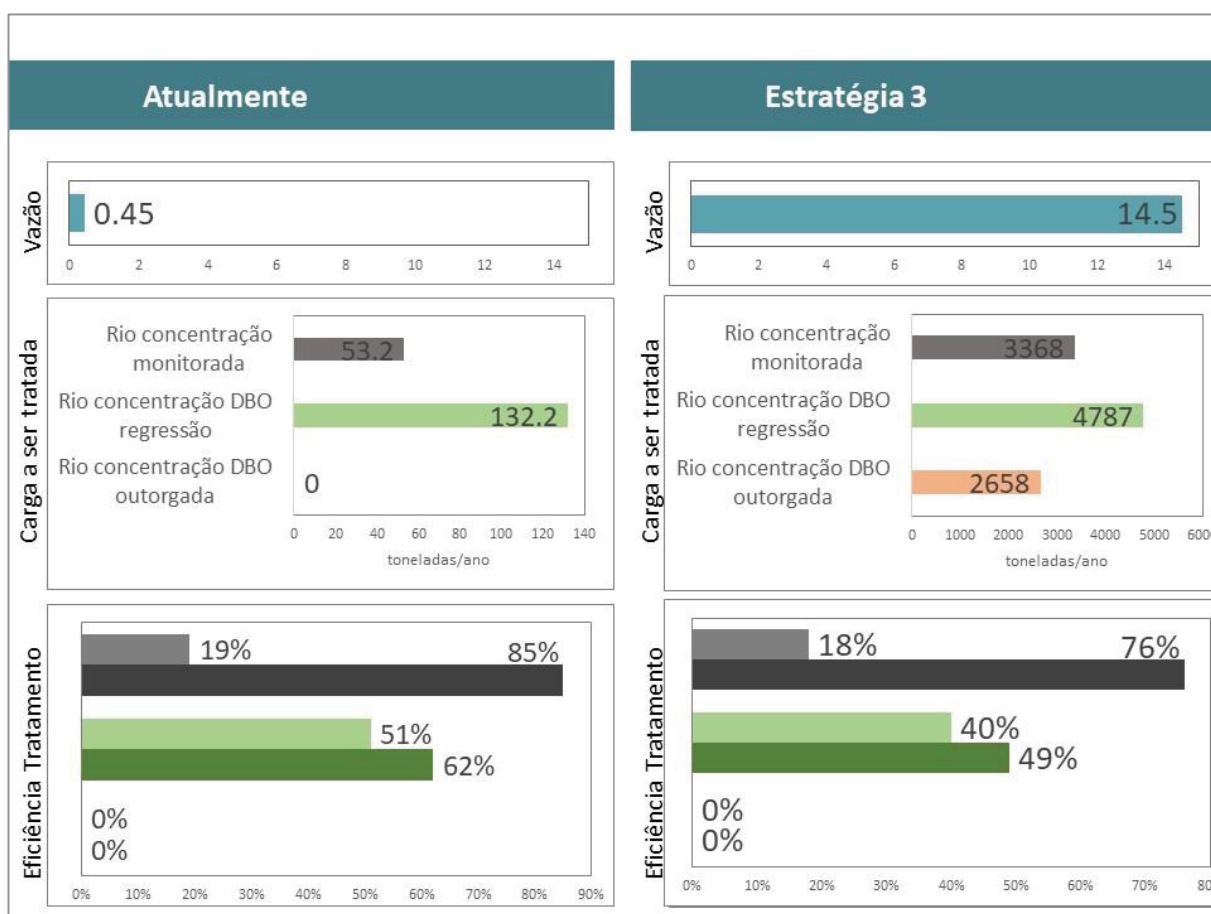


O reúso da água proveniente apenas da ETE e com a diminuição do volume de água captado aumenta a necessidade de tratamento, sendo a maior as eficiências requeridas entre todos os cenários. Isso se deve a redução da diluição proporcionada pela água captada.

(3) - Aumentar a disponibilidade com o Reúso e com o aumento da captação

O aumento da captação consequentemente aumenta o volume de água retornada pela indústria, assim, uma maior parcela que pode ser reusada e permanecer no sistema por um maior tempo. A disponibilidade hídrica no ponto considerando a máxima captação possível e os máximos volumes água reusada permite a vazão de 14,17 m³/s para o usuário (C11), o que representa em um aumento de 3116% em relação a água utilizada atualmente. Na Figura 37 estão infográficos comparativos entre o cenário atual com o cenário de maior disponibilidade hídrica da adoção da Estratégia 3 (C11).

FIGURA 37: INFOGRÁFICO DO CENÁRIO DE MAIOR DISPONIBILIDADE HÍDRICA SEGUINDO A ESTRATÉGIA 3



. Esse cenário de efluente lançado zero, reduziria o aporte de 2.459,81 toneladas por ano de DBO no corpo hídrico.

O aumento da captação também diminui a necessidade de eficiência de tratamento. A partir da captação de 50% do volume possível, as concentrações de

DBO devido ao reúso passam estar diluídas na proporção de que a eficiência requerida de tratamento é próxima a necessária para o cenário atual sem o reúso.

6.6 INTEGRAÇÃO: DISPONIBILIDADE HÍDRICA, ÁGUA DE REÚSO E ECONOMIA CIRCULAR

Essa pesquisa proporcionou um estudo inicial de abordagens que reflitam com maior precisão a complexidade da alocação dos recursos hídricos em que tratem a variabilidade não somente da quantidade disponível nos rios, mas da qualidade, da finalidade e que integre também a vertente da sustentabilidade com a introdução do sistema de reúso.

Diversas pesquisas relatam a factibilidade quanto a introdução de sistemas de reúso como uma fonte alternativa de água no contexto de saneamento. Principalmente, relacionando aspectos de volume disponível, volume demandado pelo usuário e tratamento dos efluentes para a implementação dos sistemas. Os resultados permitiram a análise da preservação da disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas e na alocação de água com a inclusão de sistemas de reúso.

A implementação de água de reuso para usuário industrial resultou em um aumento da disponibilidade hídrica para o usuário e no rio para os demais usuários uma vez que um volume de água menor deixa de ser captado, e reduz também o uso da água para diluição dos efluentes e passíveis de impactar a qualidade do rio, o que proporciona por sua vez uma economia do capital natural e estabelece um sistema de economia circular na gestão da água no rio Iguaçu.

A adoção da estratégia 2, em que se mantém demanda hídrica atual, com a substituição da fonte de água proveniente do rio pelo reúso dos efluentes, gera a necessidade de um aumento na eficiência de tratamento, o que pode ocasionar um maior custo ao usuário. No Capítulo 2 foram elencados algumas possibilidades da redução de custos com a adoção do sistema de reuso, entretanto, é necessário fazer uma relação com o custo adicional que o usuário deverá ter com o tratamento do efluente para o reuso. Deste modo, é necessário aprofundar também as análises econômicas, a fim de estimular os usuários na transição para um sistema de uso mais sustentável dos recursos hídricos e consolidar um sistema de economia circular.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Disponibilidade Hídrica: variabilidade Quali-Quantitativa

A disponibilidade hídrica não é uma questão apenas de quantidade, mas também da qualidade e da finalidade da água. Nessa pesquisa foi possível avaliar como a variabilidade temporal da quantidade e da qualidade da água é um fator importante a ser considerado na gestão dos recursos hídricos. A combinação da contemplação da variabilidade das concentrações DBO e das vazões resultaram a variabilidade das eficiências de tratamento requeridas.

A carência de dados de monitoramento de qualidade da água é um fator limitante nas análises de disponibilidade hídrica. Nessa pesquisa foram utilizadas duas abordagens diferentes para consolidar uma série temporal de qualidade em escala mensal.

A hipótese de **relação da concentração de DBO** com a vazão apresentou baixos coeficientes de determinação (r^2 variando de 0,00 a 0,16). Entretanto apresentou médias próximas as monitoradas.

A série de concentrações de DBO compostas apenas com a **simulação dos valores de lançamentos outorgados** através das equações de Streeter Phelps apresentaram valores médios divergentes dos dados monitorados. Apesar de não ter sido consideradas a introdução de cargas difusas, o método utilizado permitiu avaliar os efeitos dos lançamentos outorgados de modo variável, em que em épocas de vazões baixas resultaram em maiores concentrações no rio.

Mesmo com as limitações intrínsecas as abordagens adotadas para a obtenção de séries mensais de DBO, a consideração da variabilidade das concentrações possibilitou estudar o impacto no enquadramento segundo as normativas do CONAMA/2005 que seguem valores de referência de concentrações como constantes, e também no impacto para o usuário de água, em que no estudo da disponibilidade hídrica gerou resultados diferentes de eficiência de tratamento requerida entre as frequências de ocorrência. Ambos os estudos com a qualidade variável resultariam em ações díspares pelo gestor de recursos hídricos.

Disponibilidade Hídrica no Rio Iguaçu. O ponto IG4 e sua interface com a atividade industrial

Na região metropolitana de Curitiba, o complexo industrial de Araucária, não está em situação de déficit hídrico em termos volumétricos, possuindo a capacidade de expansão dos empreendimentos com potencial de retirada de água do rio Iguaçu. Entretanto, em termos da qualidade da água, a DBO monitorada apresenta na maior frequência concentração classificada pelo CONAMA/2005 sendo rio classe 4, quando o Instituto das Águas classifica como rio classe 2.

A análise com os dados de concentrações outorgados, demonstraram que no ponto já acontece o reúso indireto e não planejado, em que o efluente lançado a montante do ponto, ainda não foi depurado completamente cabendo ao usuário tratar a água antes do uso. Apenas com as concentrações outorgadas, o rio fica em classe 2, entretanto, o cálculo desconsidera qualquer possibilidade de fonte difusa, que pode acontecer naturalmente devido ao uso e ocupação do solo nas margens adjacentes.

Recomendações para Estudos Futuros

Os dados em escala diária apresentaram resultados diferentes dos em escala mensal para um período de 12 anos de dados para o ponto IG4. Com o avanço tecnológico que permite o processamento de grandes volumes de dados atualmente, recomenda-se aprofundar os estudos para escala diária.

As análises através das curvas de probabilidades permitiram uma avaliação quanto a variabilidade das concentrações. Sugere a contemplação de tais análises de probabilidade também pela legislação ambiental, de modo a estabelecer limites para a preservação do meio ambiente e quanto a orientação para os múltiplos usuários.

O método aqui utilizado para análise do impacto da introdução dos sistemas de reúso pode ser expandido e aperfeiçoado com aferição das quantidades retiradas e retornadas pelos usuários como variáveis. Para isso é necessário um levantamento aprofundado dos reais valores praticados, da simulação de outros parâmetros de qualidade e verificação da qualidade de reúso para diferentes finalidades. Assim como, realizar a análise do impacto para bacia que devido a um aumento da retenção volumes de água por maior tempo pelos usuários consequente da introdução de sistemas de reúso.

As análises dos cenários resultaram em termos de matéria orgânica a factibilidade da implementação dos sistemas de reúso, desde que em alguns

acompanhado por tratamento prévio, entretanto é necessário ainda uma análise aprofundada de outros parâmetros físicos-químicos

Considerando apenas as concentrações de outorga, o usuário industrial com um limite de concentração 10 mg/L, não precisaria tratar a água antes do uso, entretanto nas análises monitoradas da concentração apresenta valores acima do padrão, inviabilizando o consumo direto, sendo necessário a implementação de sistema de tratamento. Surge outra pergunta diante desta resposta aqui encontrada, qual é o melhor benefício, e se possível, a melhoria da qualidade da água diretamente na bacia a montante do ponto de captação, ou o investimento em tratamento de água? A resposta dessa pergunta fica como sugestão para um estudo aprofundado de gestão de recursos hídricos que inclua a valoração da água e dos processos de tratamento.

Desenvolvimento de método para simulação de cenários de reúso a fim de definir prioridades de alocação de água e cobrança

O uso da água uma bacia hidrográfica compreende vários usuários com características singulares de uso. Regiões áridas costumam apresentar maiores conflitos para determinação da alocação da água. As hipóteses simplificadoras adotadas nesse estudo, como a vazão de retorno pela indústria constante e igual a 80%, captações e lançamentos constantes iguais aos outorgados podem ser considerados variados de modo a representar melhor as práticas e avaliar a disponibilidade hídrica variável e possível de ser alocada.

Sistema de Água de Reúso como uma estratégia de implementação de Economia Circular

O sistema de reúso de água permite a redução do capital natural, recomenda-se um estudo aprofundados da valorização dos recursos hídricos que contemple os custos da cobrança pelo uso da água, estimativas dos custos de tratamentos convencional, de tratamento com o reúso, o custo do tratamento para o usuário a jusante da carga remanescente no rio, a fim de uma compreensão econômica dos benefícios e quando o sistema de reúso torna economicamente atraente.

REFERÊNCIAS

- ACQUANET. **Manual Acquanet**. 2013. Disponível em:
<http://www.labsid.eng.br/software/ManualAcquaNet2013.pdf>. 2013
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). 2017. **Água na Indústria: Uso e coeficientes técnicos**. Disponível em:
<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/noticias/estudo-da-agencia-nacional-de-aguas-aborda-uso-da-agua-no-setor-industrial>
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). 2014. **Encarte Especial sobre a Crise Hídrica, 2014**. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/docs/crisehidrica.pdf> .
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). 2012. **Projeto Aquapolo. Notícia**. Disponível em:
<http://www2.ana.gov.br/paginas/imprensa/noticia.aspx?list=ccb75a86-bd5a-4853-8c76-cc46b7dc89a1&id=11130>.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA), Fiesp. **Conservação e reúso de água em edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica, 2005
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). 2016. **Matriz de Energia Elétrica**. Disponível em:
<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>.
- ALBANO, G. D. **Integração de um modelo matemático de quantidade de água em rede de fluxo (ACQUANET) com um modelo matemático de qualidade de água em represas (CE-QUAL-R1)- Estudo de Caso: Represa Jaguari-Jacareí-Sistema Cantareira**. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 1997. NBR 13.969: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementas e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro.
- ARAGÃO, T. G. **Paraíba: uma avaliação da sinergia e sustentabilidade hídrica utilizando o modelo de rede de fluxo Acquanet**. Dissertação (Mestrado), 2008.
- ARAÚJO, B. M. et al. Comparativo econômico entre o custo estimado do reúso do efluente de ETE para fins industriais não potáveis e o valor da água potável para a região sudeste do Brasil. *Exatas & Engenharia*, v. 7, n. 17, 2017.
- BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997**. Disponível em:
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm.
- CHAPRA, S. C. 1997. **Surface Water Quality Modeling**. New York: McGraw-Hill, 844 p.

COMISSÃO EUROPEIA. 2019 **Report from the commission to the european parliament, the Council, the european economic and social committee and the Committee of the regions on the implementation of the Circular Economy Action Plan**. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/commission/>>

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). 2005. **Decreto-Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CNRH). 2005. **Resolução nº 181, de 7 de dezembro de 2016**. Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br/plano-nacional-de-recursos-hidricos/1974-resolucao-n-181-de-07-de-dezembro-de-2016/file>.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CNRH). 2005. **Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/838F10BD/Resol54-08_ReúsoDiretoAgua1.pdf>.

COELHO, M. **Estratégia de monitoramento de qualidade da água para gestão recursos hídricos em bacias urbanas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, 2013.

CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M.. **Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 13, n. 1, p. 111-124, 2008.

CUNHA, A. H. N., et al. **O reúso de água no Brasil: a importância da reutilização de água no país**. Enciclopédia Biosfera, v. 7, n. 13, p. 1225-1248, 2011

CUNHA, Davi Gasparini Fernandes; CALIJURI, Maria do Carmo; MENDIONDO, Eduardo Mario. **Integração entre curvas de permanência de quantidade e qualidade da água como uma ferramenta para a gestão eficiente dos recursos hídricos**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 17, n. 4, p. 369-376, 2012.

DA SILVA, Luciano Meneses Cardoso; MONTEIRO, Roberto Alves. **Outorga de direito de uso de recursos hídricos: uma das possíveis abordagens**. 2004.

DESPEISSE, Mélanie et al. **Towards a circular economy for end-of-life vehicles: A comparative study UK–Japan**. Procedia CIRP, v. 29, p. 668-673, 2015.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY OF UNITED STATES (EPA). 2012. **Guidelines for Water Reuse**. 2012. Disponível em: <<http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P100FS7K.pdf>>.

FALKENMARK, Malin. **The massive water scarcity now threatening Africa: why isn't it being addressed?** Ambio, v. 18, n. 2, p. 112-118, 1989. p.116.

FERNANDES, C. V. S.; PAIVA, J. B. D.; PORTO, M. F. A. 2012 **Disponibilidade Hídrica para Aplicação dos Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos: Quantidade e Qualidade de Água**. Curitiba: UFPR – Departamento de Hidráulica e Saneamento. (FINEP/ CT-HIDRO).

FERREIRA, M. D. 2015. **Simulação hidrodinâmica e de qualidade da água em rios: impacto para os instrumentos de gestão de recursos hídricos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, 2015

GARCIA, J. I. B. 2011. **Sistema de suporte a decisão para o lançamento de efluentes**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GHISELLINI, P., CIALANI, C., ULGIATI, S. **A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems**. Journal of Cleaner Production, v. 114, p. 11-32, 2016

HESPAANHOL, I. **A inexorabilidade do reúso potável direto**. Revista DAE, São Paulo, 2014.

HESPAANHOL, I. **A new paradigm for water resource management**. Estudos Avançados, v. 22, n. 63, p. 131-158, 2008.

HESHMATI, A. **A Review of the Circular Economy and its Implementation**. 2015.

JIA, X. et al. **Water Availability Footprint Addressing Water Quality**. Journal of sustainable development of energy water and environment systems-jsdewes, v. 7, n. 1, p. 72-86, 2019.

KNAPIK, H, G. 2014. **Organic matter characterization and modeling in polluted rivers for water quality planning and management**. Thesis (doctor) – Federal University of Paraná.

LERNER, G. L. S. **Estudo de impactos na geração hidroelétrica ao longo do Rio São Francisco devido à transposição de suas águas utilizando modelo matemático de fluxos em Rede Acquanet**. 2006. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO.

LIBÂNIO, P. A. C.; CHERNICHARO, CA de L.; NASCIMENTO, N. de O. **A dimensão da qualidade de água: avaliação da relação entre indicadores sociais, de disponibilidade hídrica, de saneamento e de saúde pública**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 10, n. 3, p. 219-228, 2005.

LI, Yuzhong; MA, Chunyuan. **Circular economy of a papermaking park in China: a case study**. Journal of cleaner production, v. 92, p. 65-74, 2015.

LOPES, A. V.; FREITAS, M. S. **A alocação de água como instrumento de gestão de recursos hídricos: experiências brasileiras**. Revista de Gestão de Água da América Latina, v. 4, n. 1, p. 6-28, 2007. MINISTÉRIO DA SAÚDE. 2011. **Portaria**

nº2,194, de 12 de dezembro de 2011. Disponível em:
http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html.

MA, Shu-hua et al. **Mode of circular economy in China's iron and steel industry: a case study in Wu'an city.** Journal of Cleaner Production, v. 64, p. 505-512, 2014.

MACARTHUR, E. Towards the circular economy. **Journal of Industrial Ecology**, p. 23-44, 2013

MAKROPOULOS, C. et al. **Sewer-mining: a water reuse option supporting circular economy, public service provision and entrepreneurship.** Journal of environmental management, 2017.

MALINOWSKI, A. **Aplicação de metodologia para a estruturação de diretrizes para o planejamento do reúso de água no meio urbano.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, 2006.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. **Água na indústria: uso racional e reúso.** Oficina de Textos, 2005.

MURRAY, A. The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. **Journal of Business Ethics**, v. 140, n. 3, p. 369-380, 2017.

NETO, W. G. **O novo paradigma indutor do trato tributário da questão ambiental: do poluidor-pagador ao princípio da sustentabilidade.** PNMA, p. 215, 2011.

NOSCHANG, P. G. **A (in) sustentabilidade hídrica global e o direito humano à água.** Seqüência: Estudos Jurídicos e Políticos, v. 39, n. 79, p. 119-138, 2018.

OSÓRIO, R. C. F. **Estudo do potencial reúso industrial de água não potável a partir de efluentes domésticos tratados.** . Dissertação Curso de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Universidade Federal do Paraná (UFPR) 2014.

PORTO, M. F.A.; FERNANDES, C. V. S.; KNAPIK, H. G.; FRANÇA, M. S.; BRITES, A. P. Z.; MARIN, M. C. F. C.; MACHADO, F. W.; CHELLA, M. R.; SÁ, J. F.; MASINI, L. (2007) **Bacias Críticas: Bases Técnicas para a definição de Metas Progressivas para seu Enquadramento e a Integração com os demais Instrumentos de Gestão.** Curitiba: UFPR – Departamento de Hidráulica e Saneamento. (FINEP/ CT-HIDRO).

PORTO, R. L. L.; AZEVEDO, LG T. **Sistemas de suporte a decisões aplicados a problemas de recursos hídricos. Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos.** Coordenação e organização científica: PORTO, RL Porto Alegre: Ed. Da Universidade/UFSGS/ABRH, (Coleção ABRH de recursos hídricos), p. 42-95, 1997.

PANTE, A. R.; NÓBREGA, M. T.; FREITAS, M. **Disponibilidade Hídrica Superficial nas Bacias do Rio Poti e Longá**. VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, São Luís-MA, 2004.

CUNHA, D., G. F; CALIJURI, M., C.. **Análise probabilística de ocorrência de incompatibilidade da qualidade da água com o enquadramento legal de sistemas aquáticos—estudo de caso do rio Pariquera-Açu (SP)**. Eng Sanit Ambient, v. 15, n. 4, p. 337-346, 2010.

DA SILVA, S. S. F. et al. **Reúso de água e construção de cenários futuros: perspectivas e desafios para regiões semiáridas**. Polêm! ca, v. 18, n. 2, p. 072-086, 2018.

SECRETARIA DO ESTADO E DO MEIO AMBIENTE (SEMA). 2010. **Bacias Hidrográficas do Brasil**. Disponível em: http://www.meioambiente.pr.gov.br/arquivos/File/corh/Revista_Bacias_Hidrograficas_do_Parana.pdf

DA SILVA, Danilo José P. **Programa de conservação e reuso de água-PCRA**. 2011. Disponível em: <https://www2.cead.ufv.br/sgal/files/apoio/saibaMais/saibaMais3.pdf>

TEIXEIRA, C. A.; PORTO, Rubem L. L. Modelo matemático para gerenciamento de quantidade e qualidade da água em rios. Um estudo de caso: bacia do rio Piracicaba. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 2, n. 2, p. p. 79-104, 2008.

TUCCI, C.E.M. 1998. **Modelos Hidrológicos**. Editora da Universidade /UFRGS / ABRH: Porto Alegre;

XU, H., WU, M.M. **Water Availability Indices—A Literature Review**. Argonne National Lab.(ANL), Argonne, IL (United States), 2017.

YUAN, Zi; BI, J; MORIGUICHI, Y. The circular economy: **A new development strategy in China**. **Journal of Industrial Ecology**, v. 10, n. 1-2, p. 4-8, 2006.

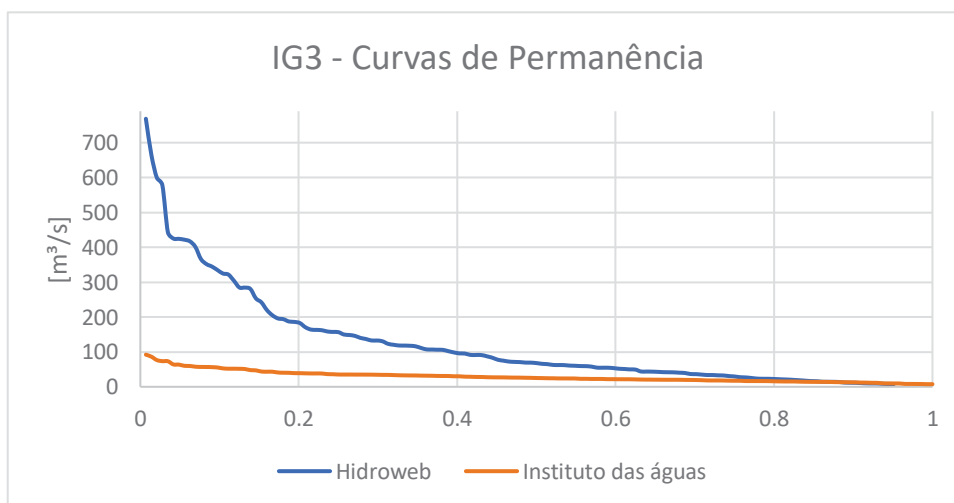
APÊNDICE 1 – ETAPA PRÉ-SIMULAÇÃO - LEVANTAMENTO DE DADOS

Escolha de dados entre Hidroweb e Instituto das Águas dos Paraná

Na fase de levantamento de dados foram obtidos dados de vazão fornecidas pela Agência Nacional de Águas (ANA) pelo sistema Hidroweb e dos dados disponíveis pelo Instituto das Águas do Paraná. Entretanto, foi verificada a diferença entre os dados de vazões, possivelmente devido as diferentes curvas-chaves. Os dados escolhidos foram o do Instituto das Águas pela ordem de grandeza mais similar a outros estudos da região.

Essa informação está inclusa no apêndice para eventual reprodução desse trabalho e assim informar a diferença entre os bancos de dados governamentais disponíveis para essas estações de monitoramentos estudadas. Abaixo algumas análises realizadas dos o ponto de monitoramento IG3 para os dados do Hidroweb e do Instituto das Águas.

FIGURA A. 1 – CURVAS DE PERMANÊNCIA PARA VAZÕES DA MESMA ESTAÇÃO COM DADOS DO HIDROWEB E DO ÁGUASPARANÁ



APÊNDICE 2 – CURVAS DE PERMANÊNCIA E HIDROGRAMAS DO CENÁRIO 1

FIGURA A.2.1- CURVAS DE PERMANÊNCIA SÉRIE TEMPORAL COM O ACQUANET

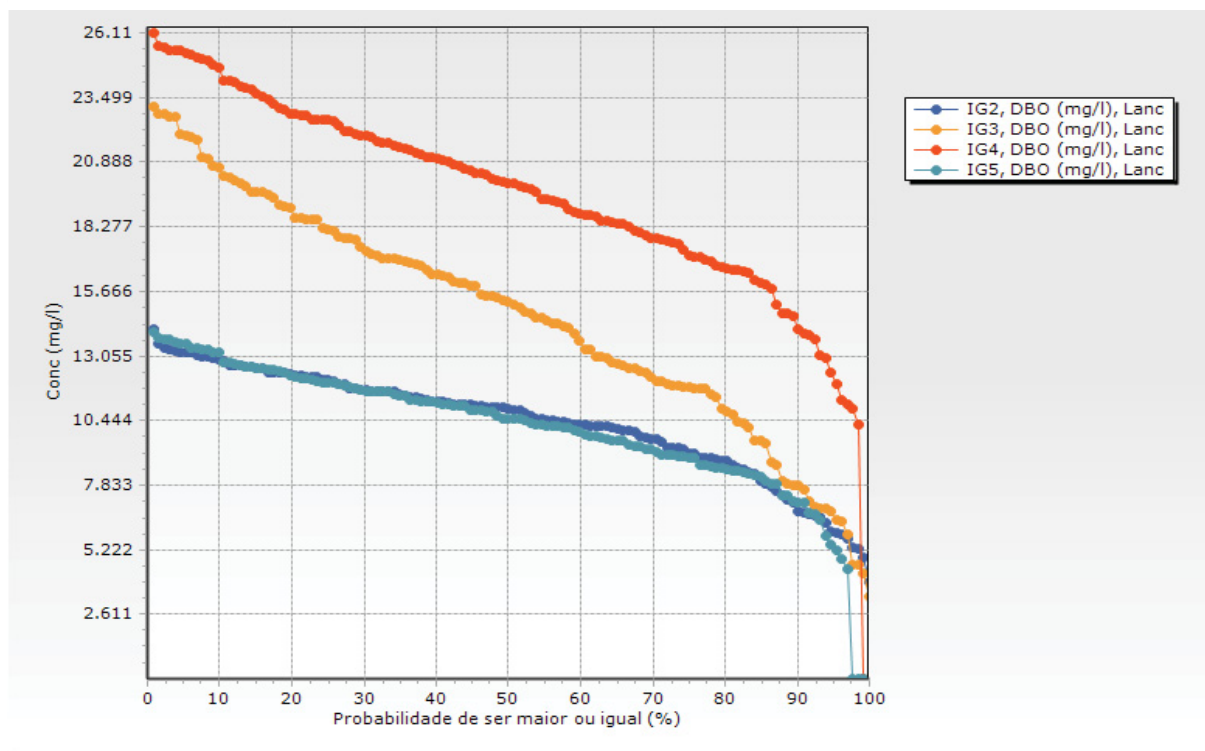


FIGURA A.2. 1 - HIDROGRAMAS GERADOS PELO ACQUANET DA SÉRIE DE VAZÕES ENTRADAS

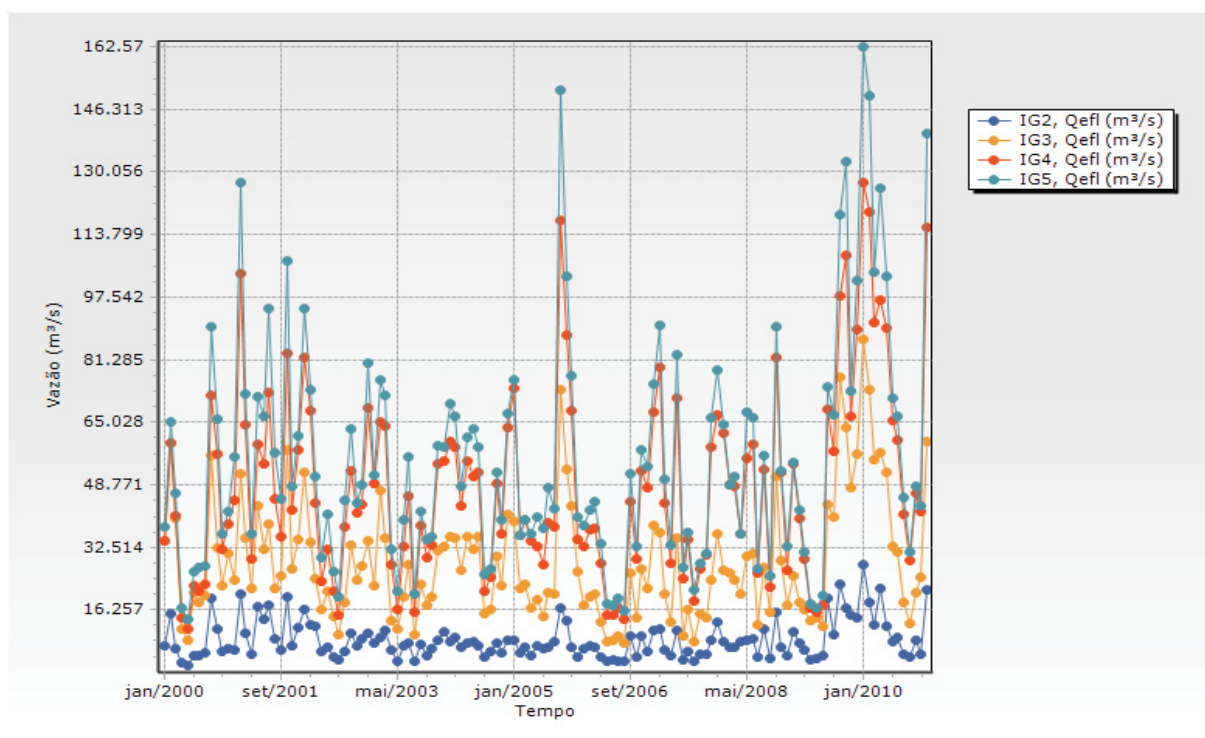
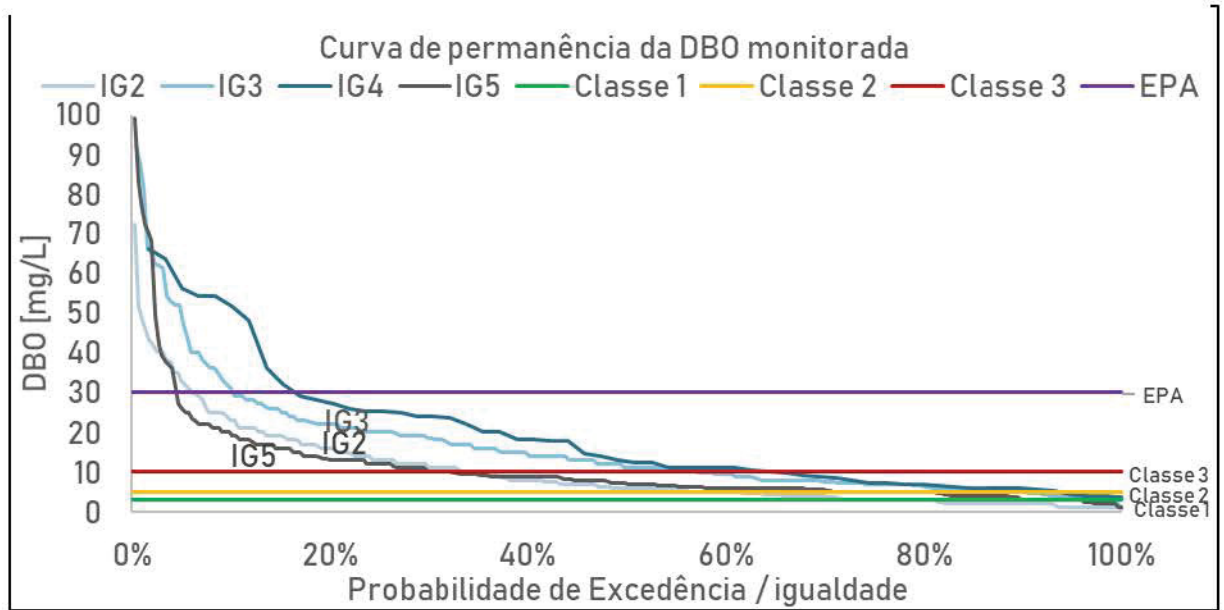


FIGURA A.2. 1- CURVA DE PERMANÊNCIA DAS DBOS MONITORADAS E CLASSES DE ENQUADRAMENTO



APÊNDICE 3 – AJUSTES DAS CURVAS DE DBO EM FUNÇÃO DA VAZÃO

FIGURA A.3. 1 - EQUAÇÃO DO PRIMEIRO GRAU

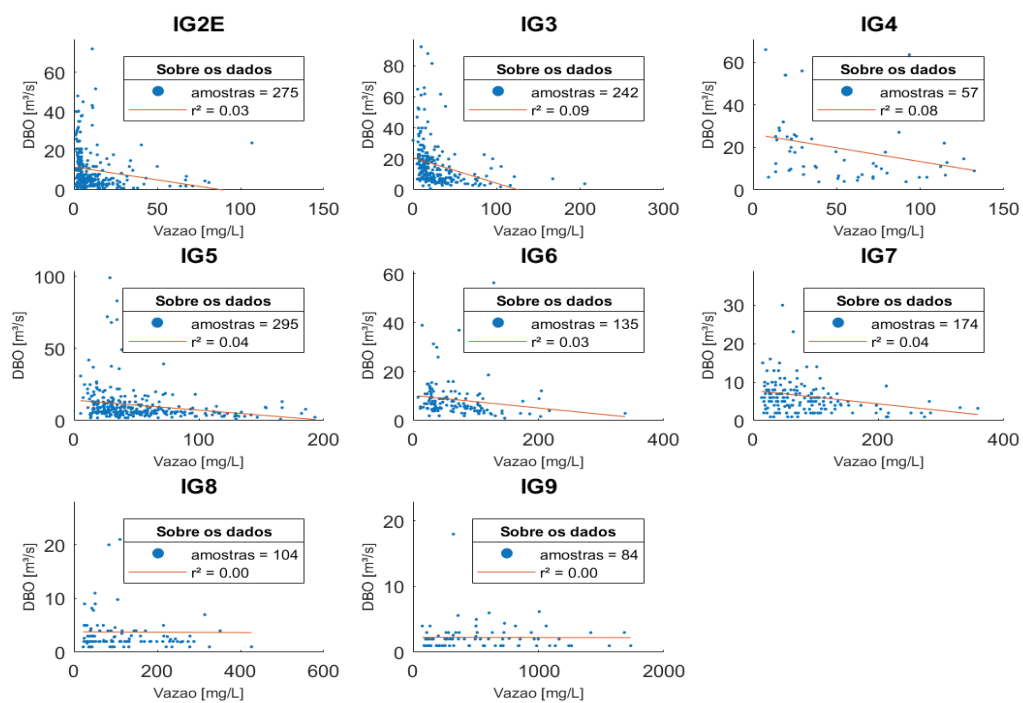


FIGURA A.3. 2- EQUAÇÃO DO SEGUNDO GRAU

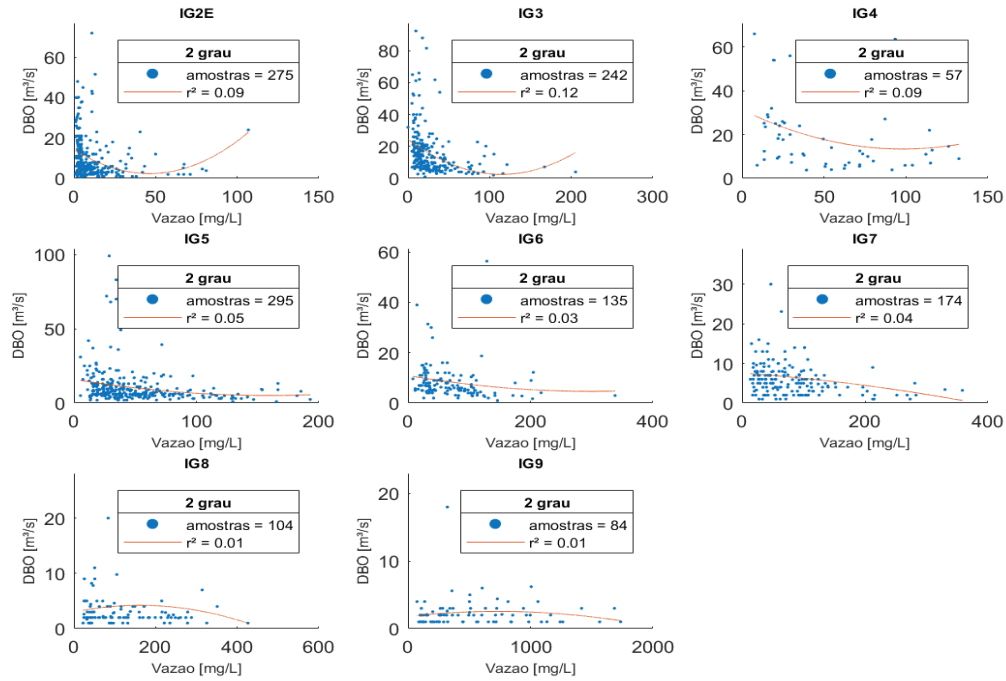


FIGURA A.3. 3- EQUAÇÃO DO TERCEIRO GRAU

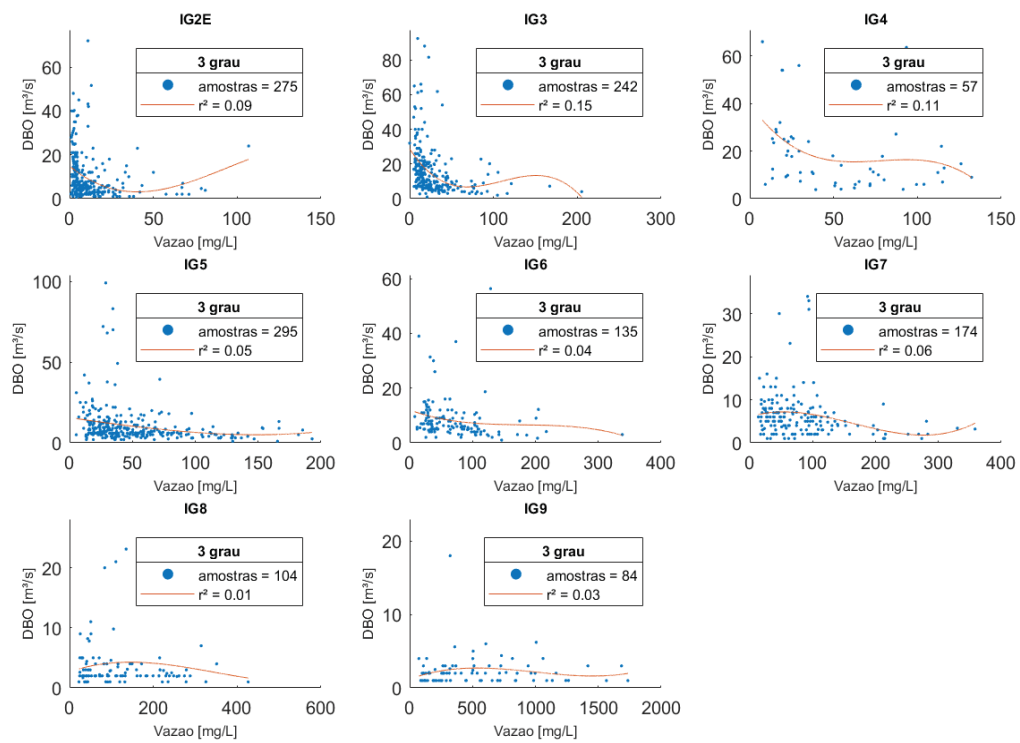


FIGURA A.3. 4 - EQUAÇÃO DO QUARTO GRAU

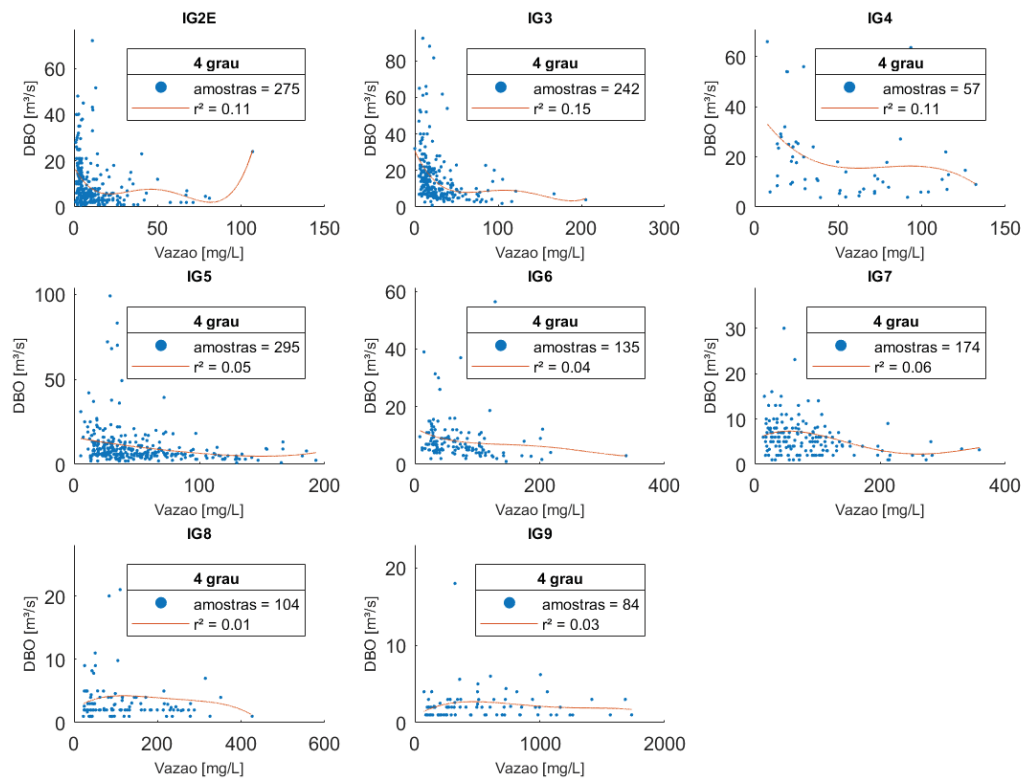


FIGURA A.3. 5 - EQUAÇÃO DO QUINTO GRAU

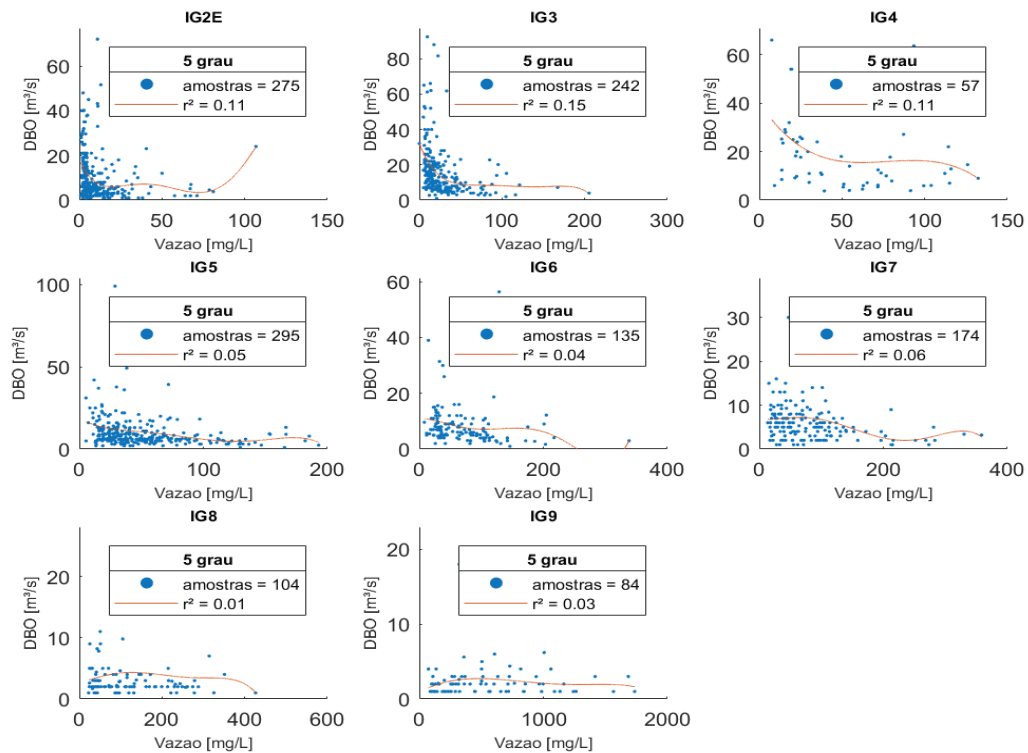
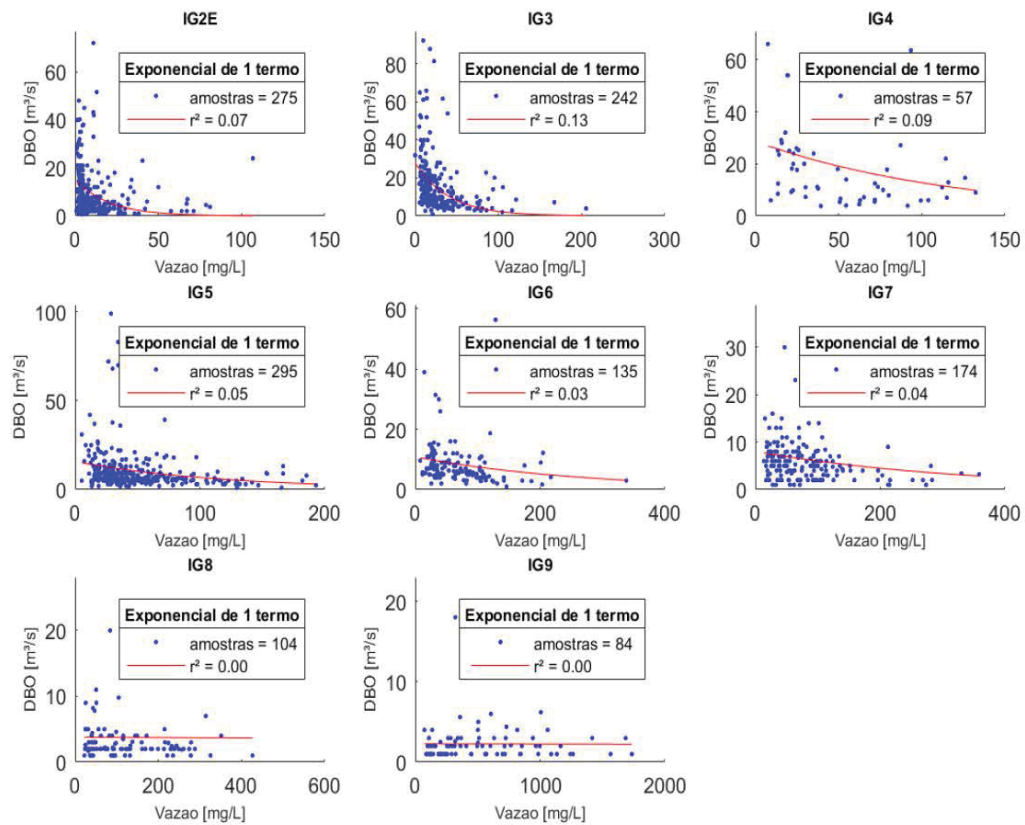
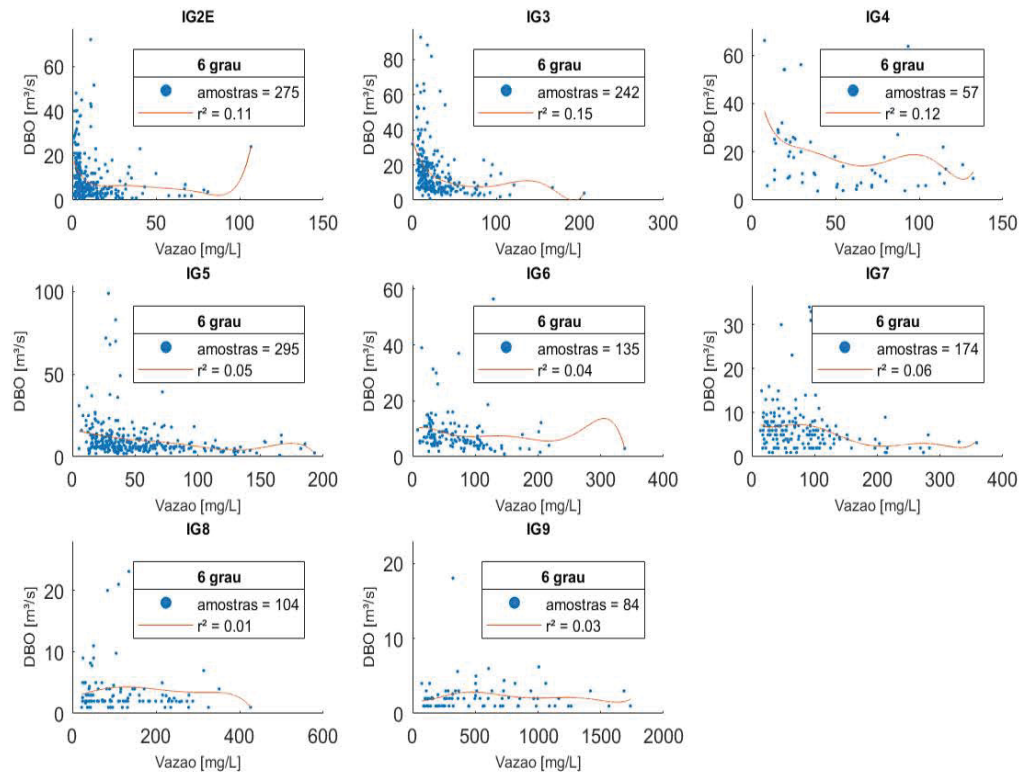


FIGURA A.3. 6- EQUAÇÃO DO SEXTO GRAU



Coeficientes de Determinação curvas DBO e Vazão dados Integra e Instituto das Águas

Pto	ÁGUAS PARANÁ (2000 - 2018)			
	n° de dados	Coeficiente de Determinação (r^2) para ajustes de polinômio de ordem:		
		1°	2°	3°
IG2	143	0.0158	0.0580	0.0585
IG3	145	0.0550	0.0726	0.0870
IG4	56	0.0740	0.0891	0.1051
IG5	177	0.0527	0.0565	0.0570
IG6	99	0.0203	0.0205	0.0208
IG7	80	0.0477	0.0518	0.0645
IG8	41	0.0002	0.0035	0.0036
IG9	20	0.0238	0.0353	0.0931

Pto	ÁGUAS PARANÁ (1970 - 2018)						
	n° de dados	Coeficiente de Determinação (r^2) para ajustes de polinômio de ordem:					
		1°	2°	3°	4°	5°	6°
IG2	275	0.0336	0.0891	0.0913	0.1113	0.1123	0.1130
IG3	242	0.0894	0.1247	0.1459	0.1489	0.1496	0.1503
IG4	57	0.0770	0.0936	0.1082	0.1082	0.1082	0.1152
IG5	295	0.0441	0.0482	0.0483	0.0484	0.0495	0.0501
IG6	135	0.0315	0.0339	0.0366	0.0369	0.0380	0.0386
IG7	174	0.0437	0.0445	0.0558	0.0568	0.0586	0.0613
IG8	104	0.0001	0.0099	0.0106	0.0115	0.0118	0.0118
IG9	84	0.0000	0.0147	0.0262	0.0278	0.0279	0.0301